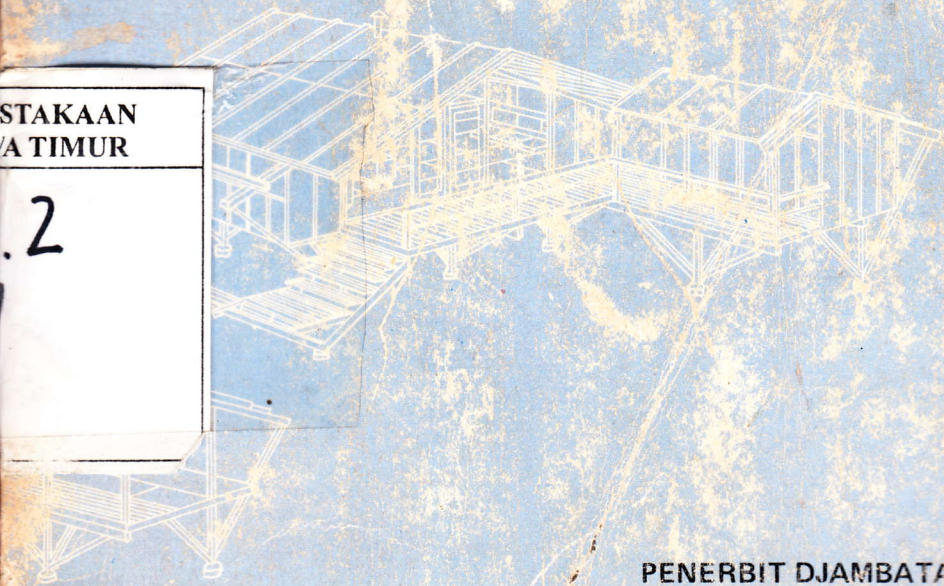
Dipl. Ing. Y.B. Mangunwijaya

PENGANTAR FISIKA BANGUNAN



STAKAAN
A TIMUR
. 2

PENERBIT DJAMBATAN

PENGANTAR
FISIKA BANGUNAN

PELANGGARAN TERHADAP UNDANG-UNDANG HAK CIPTA

Pasal 44

(1) Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 100.000.000,– (seratus juta rupiah).

(2) Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 50.000.000,– (lima puluh juta rupiah).

PENGANTAR FISIKA BANGUNAN

oleh

Dipl. Ing. Y.B. Mangunwijaya

PENERBIT DJAMBATAN

Copyright © pada Djambatan
Anggota IKAPI
Cetakan ketiga 1988
Cetakan keempat 1994

Perpustakaan Daerah
Jawa Timur
000

MILIK
PERPUSTAKAAN DAERAH
JAWA TIMUR
Nomor : 83.726/PDI/R/19 96
Tanggal : 23/10 1996

ISBN 979 428 214 6

PERPUSTAKAAN DAERAH JAWA TIMUR
JL. MENUR PUMPUNGAN No. 32
SURABAYA
TAHUN ANGGARAN 1996/1997

Percetakan Anem Kosong Anem

DAFTAR ISI

I PASAL PENGHANTAR
1. Maksud buku ini 1
2. Apa arti membangun rumah secara murah 1
3. Mencari penyelesaian soal dari dalam 2
4. Guna dan citra 5
5. Pembagian buku 9
6. Ucapan terima-kasih 10

II PERTIMBANGAN-PERTIMBANGAN PENGARUH ALAM
1. Sinar matahari
1.1 Macam-macam sinar 15
1.2 Suhu tropika 17
1.3 Daerah tropika isotherm 21
2. Hujan dan kelembaban
2.1 Curah hujan 26
2.2 Akibat-akibat fisikalis 27
2.3 Akibat-akibat kimia 28
2.4 Akibat-akibat biologis 29
2.5 Penyusupan air hujan ke dalam dinding dan atap 35
2.6 Penyusupan kelembaban oleh daya-daya kapiler 35
2.7 Derajat kelembaban dan gejala kondensasi 36
2.8 Difusi 41
2.9 Basah dari bawah 44
2.10 Perlindungan terhadap kelembaban 46
2.11 Beberapa catatan praktis tentang dinding luar bangunan 49
3. Pengaruh angin
3.1 Angin antar benua dan samudera 56
3.2 Angin musim di Nusantara 57
3.3 Angin setempat 60

3.4 Skala Beaufort untuk kecepatan angin 62
3.5 Tekanan dan hisapan angin 63
3.6 Muatan angin 66

4. Gempa bumi
4.1 Peta gempa bumi 75
4.2 Susunan bola-bumi dan sebab-musabab gempa bumi 78
4.3 Getaran-getaran gempa bumi 79
4.4 Beberapa catatan praktis 80
4.5 Saran-saran 83
4.6 Catatan tentang bahaya taufan 88
4.7 Instalasi-instalasi pelayanan-pelayanan umum 88
4.8 Reparasi-reparasi 89
4.9 Kebijaksanaan nenek moyang 89

III KENIKMATAN FISIK (COMFORT)

5. Sengat dan silau matahari
5.1 Perlindungan jenis perisai dan jenis penyaringan (filter) 95
5.2 Saran-saran praktis 106
5.3 Gejala perangkap geothermis dan optis 109
5.4 Perhitungan pertolongan pencegahan radiasi 110
5.5 Kisi-kisi dan lain-lain 111

6. Kalor dan suhu
6.1 Jalan hantaran 115
6.2 Jalan konveksi 115
6.3 Jalan radiasi 116
6.4 Perambatan kalor 116
6.5 Penimbunan kalor, kemalasan pemanasan 120
6.6 Volume kalor 123
6.7 Isolasi kalor (termis) 128
6.8 Petunjuk praktis 133

7. Kelembaban
7.1 Pengaruh fisik pada manusia 143
7.2 Ventilasi dan susunan rumah 144
7.3 Kebersihan udara dalam ruangan 145
7.4 Ventilasi horisontal dan ventilasi vertikal 147
7.5 Ventilasi buatan dengan kincir 155
7.6 Ventilasi cerobong arang Mesir 156
7.7 Pengaruh tinggi langit-langit 158

8. Gangguan bunyi
8.1 Beberapa pengertian pokok 162
8.2 Tingkat bunyi atau desibel 163
8.3 Kenyaringan bunyi, pengertian foon 165
8.4 Menanggulangi gangguan bunyi 166
8.5 Isolasi bunyi 168
8.6 Perjalanan bunyi 169
8.7 Getaran/gempa bangunan 173
8.8 Penanggulangan gangguan getaran bunyi 174
8.9 Pantulan bunyi 178
8.10 Serapan energi bunyi dan resonansi bunyi 180
8.11 Kemampuan membendung gelombang bunyi 183
8.12 Isolasi dinding 190
8.13 Koefisien serapan bunyi 194
8.14 Serapan karena transmisi dan resonansi 196
8.15 Norma-norma persyaratan isolasi bunyi 199
8.16 Klas bangunan dari segi akustik 201
8.17 Kategori ruangan dari segi akustik bangunan 202
8.18 Pelaksanaan isolasi bunyi dan denah bangunan 204
8.19 Pemilihan lokasi bangunan dan pengaturannya 205

9. Cahaya dan terang
9.1 Cahaya dan terang sebagai gejala aliran gelombang magnit elektro 211
9.2 Beberapa paham fisika cahaya 213
9.3 Diagram kekuatan cahaya rata-rata 216
9.4 Penempatan sumber terang 217
9.5 Pertimbangan ekonomi pemasangan lampu 219
9.6 Sistem penyinaran 221
9.7 Pengaruh armatur 222
9.8 Pengaruh keadaan dinding, langit-langit, lantai dan sebagainya 223
9.9 Indeks bentuk ruangan dan pengaruh perabot rumah 226
9.10 Kecerlangan, kesilauan 230
9.11 Jenis lampu listrik 231
9.12 Kesimpulan singkat 236
9.13 Terang siang dan faktor cahaya siang hari 238
9.14 Terang langit 242
9.15 Kualifikasi derajad bangunan dan persyaratan penerangan 246
9.16-9.20 Syarat-syarat teknis dan perhitungan 246

10. Pembuangan air kotoran
10.1 Derajad pengotoran air buangan 261
10.2 Pemurnian kembali air kotoran 263
10.3 Perencanaan tangki-tangki pembuangan air-kotoran ... 266
10.4 Tanah peresapan 272

IV PANCA SARANA WISMA
11. Atap
11.1 Atap sebagai pelindung 279
11.2 Atap panas 280
11.3 Atap dingin 286
11.4 Bahan penutup atap 290
11.5 Kemiringan atap 299

12. Pendukung atap
12.1-12.2 Konstruksi peletakan secara titik, garis, dan bidang 301
12.3 Contoh-contoh dari praktek 308

13. Alas
13.1 Pengertian dasar 313
13.2 Beberapa saran praktis 316
13.3 Beberapa pasal pokok dari Peraturan Muatan Indonesia 1970 N.I.-18 323

14. Lantai
14.1 Gagasan dasar tentang fisika unsur 329
14.2 Lantai dan perwujudannya 329
14.3 Lantai, khusus untuk tanah-air kita 329
14.4 Beberapa pasal dari Peraturan Muatan Indonesia 1970 N.I.-18 335

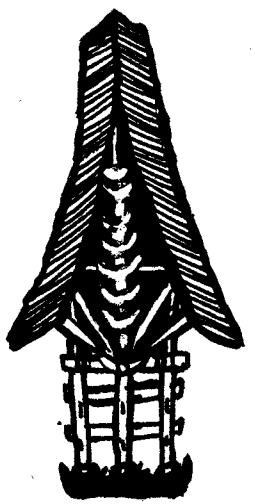
15. Dinding
15.1 Fungsi pemikul beban bangunan 339
15.2 Fungsi penutup atau pembatas ruangan 341
15.3 Fungsi keamanan 347
15.4 Masalah-masalah fisika bangunan dinding luar 347
15.5 Fungsi-fungsi dinding-luar 349

V SOAL-SOAL KHUSUS
16. Pemilihan bahan-bahan bangunan
16.1 Faktor-faktor penentu 355
16.2 Sifat fisik 355
16.3 Peletakan dan peruntukan bahan 356
16.4 Ekonomi penyediaan bahan 356
16.5 Kemampuan tukang dan pekerja lokal 357
16.6 Pertimbangan ekonomi nasional 357
16.7 Ungkapan bahasa budaya dari bahan yang dipilih ... 358
16.8 Kemungkinan pengontrolan dan pemeliharaan 359
16.9 Pertimbangan biaya 360
16.10 Indah = benar dan wajar 360

17. Masalah bahaya kebakaran
17.0 Faktor sosio-budaya bahaya kebakaran 361
17.1 Tahap-tahap pembakaran 362
17.2 Penggolongan bahan-bangunan dari segi bahaya kebakaran 364

18. Masalah statika elektro bangunan
18.1 Segi comfort dan kesehatan 371
18.2 Masalah petir 372
18.3 Sistim pengamanan terhadap petir 374
18.4 Konstruksi pelaksanaan 375

19. Flora dan fauna serta pengelolaan ekologis
19.0 Hubungan bangunan dan flora-fauna 379
19.1 Kesatuan ekologis alam lingkungan kita 379
19.2 Re-Architecture 380
19.3 Arsitektur flora 382



I

PASAL PENGHANTAR

1. MAKSUD BUKU INI

Masalah bangunan, khusus membangun rumah, tentulah bermacam-macam. Buku kecil ini pertama-tama dimaksud selaku buku penghantar untuk murid-murid setingkat Sekolah Teknik Menengah atau mahasiswa arsitektur tingkat awal. Akan tetapi bisa dipakai oleh saudara-saudara lain juga yang berminat. Misalnya para pegawai-petugas P.U., pemborong, kaum direksi dan mereka yang sering harus berurusan atau mengawasi proyek-proyek bangunan/rumah. Dalam suatu negara berkembang yang sangat luas seperti tanah-air kita, dengan penduduk 130 juta dan yang semakin meningkat tempo pembangunannya, mustahil kita boleh hanya menunggu ahli-ahli berijasah yang cukup jumlah maupun mutunya untuk perencanaan, pelaksanaan serta pengawasan sektor pembangunan perumahan dan pergedungan umumnya. Suatu saat kita semua dan kita sendirilah, yang biar awam sekalipun dalam teknik bangunan, harus (terpaksa) memberanikan diri untuk memulai dan mengakhiri pembangunan, tanpa ahli yang berijasah. Buku ini ingin membantu Anda.

Bukan yang pertama kali buku teknik bangunan diterbitkan. Bukan juga ini satu-satunya yang paling lengkap, bahkan belum tentu yang tepat untuk kebutuhan Anda. Oleh karena itu sudilah pembaca maklum dahulu, apa sebenarnya maksud dan sasaran yang ingin dicapai oleh pasal-pasal pelajaran dalam buku kecil ini.

2. APA ARTI MEMBANGUN RUMAH SECARA MURAH

Pertama marilah kita mulai dari titik-tolak, yang biasanya ditanyakan pertama oleh setiap orang yang ingin membangun. Yaitu: kita ingin membangun murah. Itu wajar. Hanya marilah kita menghindarkan diri dari pengertian pembangunan "murah" yang semu. Sebenarnya, murah atau tidak murah itu relatip, tergantung dari banyak ukuran. Dalam kenyataan, rumah "murah" bisa jadi mahal sekali. Dan rumah yang disebut "mahal" sangat mungkin justru sebenarnya murah. Artinya yang penting bukan berapa jumlah uang yang dikeluarkan, melainkan PERBANDINGAN antara biaya yang dikeluarkan dan hasil yang dicapai

(cost and benefit rate). Itulah yang harus menguntungkan. Murah dalam arti hijau adalah tadi: yang mengeluarkan uang sedikit, dihitung tanpa dibandingkan dengan sesuatu hasil yang SENYATAnya tercapai olehnya. Tetapi murah dalam arti dewasa adalah: YANG BERTANGGUNG-JAWAB, LAYAK DAN MEMADAI HASILNYA. Dan itu dihitung dengan mempertimbangkan sebanyak mungkin unsur dan faktor yang berpautan. Sehingga: perbandingan antara yang dikorbankan dan hasil yang teraih (untuk maksud dan saat tertentu yang kongkrit dan yang selalu berlainan) masih dapat dipertanggung jawabkan.

3. MENCARI PENYELESAIAN SOAL DARI DALAM

3.1

Dari sebab itu, buku ini ingin menyumbang, agar pembaca belajar, bukan untuk menemukan resep-resep-jadi yang sudah tinggal-pakai saja atau menjiplaknya saja. Itu tidak mungkin, karena kebutuhan, kondisi, situasi dan harapan-harapan beserta modal yang kebetulan kita miliki saat ini selalu berlainan.

Maka tujuan yang ingin dicapai oleh buku kecil ini ialah, agar para pembaca mendapatkan suatu PENGERTIAN akan SELUK BELUK dan DUGARASA (insight and feeling) mengenai hal-ikhwal pokok apa, yang diminta oleh suatu soal bangunan dan bagaimana mencari jawaban soal DARI DALAM SOAL ITU SENDIRI. Itu tampaknya mudah, akan tetapi manusia selalu saja tergoda, baik karena kurang paham maupun karena justru merasa terlalu paham, untuk menyeleweng dari inti permasalahan. Kita harus belajar dan melatih diri, bahwa setiap benda yang ingin kita susun, unsur konstruksi yang ingin kita pakai, punya koderat dan sifat sendiri-sendiri dan karena itu punya hukum pengolahan dan permintaan watak perencanaan/pembentukan sendiri-sendiri! Dengan begitu kita merencana dan melaksanakan bangunan, bukan karena hafalan text-book atau karena suatu praktek rutin jiplakan yang belum tentu benar, hanya karena banyak orang berbuat mode ini itu. Semoga kita selalu bekerja karena kita tahu sendi-sendi pemikirannya, paham akan seluk-beluk di dalamnya, tahu bahasa benda, bahan dan konstruksinya. Sadar akan MENGAPAnya dan jalan-jalan apa yang sebaik mungkin. Dengan kejujuran yang sanggup sabar dan ketekunan membaca bahasa benda dan rahasia-rahasia dasar suatu konstruksi atau pun bentuk bangunan, kita ingin membangun. Bertanggungjawab, dan karena itu dengan sendirinya murah dalam arti yang betul.

3.2

Selain itu, memanglah dalam suatu negara yang sedang ramai mengembangkan diri ini, namun yang masih akan lama kekurangan guru-guru

berijasah, setiap "awam" sedapat mungkin harus mau (dan pasti bisa) mempersiapkan diri sedikit-banyak menjadi guru atau pembina bagi kawan-kawan sesama karya atau sekampung dalam hal teknik bangunan.

Kita semua, berijasah atau tidak, seyogyanya selalu merasa menjadi murid, namun guru sekaligus, menurut kemampuan dan bakat kita masing-masing. Janganlah hendaknya kita berpendapat, bahwa pengertian dan ketrampilan membangun rumah atau gedung hanya bisa diperoleh dengan ijasah atau sekolah resmi. Banyak di antara kita yang berbakat dan sebenarnya bisa, namun tak berkesempatan bersekolah. Bagi mereka itulah juga, buku ini ingin merupakan sumbangan bantuan. Secara belajar sendiri atau dalam suatu kelompok, syukurlah bila ada seseorang yang berpengalaman mau membantu sebanyak mungkin. Manusia pembangun perlu dan harus mendapat pengertian-pengertian dasar tentang seluk-beluk persoalan konstruksi bangunan. Tentulah dalam soal-soal yang agak sulit dan bisa berakibat besar, kita harus cukup rendah-hati untuk bertanya dan minta nasihat dari seseorang yang kita anggap ahli atau lebih berpengalaman. Tetapi dalam soal-soal yang biasa, terutama bila kita ingin membangun rumah kita sendiri, banyak hal dapat kita pelajari sendiri. Yang penting ialah sikap mental kita. Jangan membiasakan kerja asal jadi atau asal menjiplak saja. Bila kita mau menjadi murid yang tekun dan semoga akhirnya menjadi pembina yang baik, tentulah banyak soal bangunan lekas kita kuasai. Seorang murid yang baik dan seorang pembina yang serius selalu MENCARI INTI SOAL DARI DALAM. Ia melihat bahwa setiap orang maupun benda punya watak dan bakat masing-masing. Kayu pun misalnya punya watak dan bakatnya sendiri, punya kekuatan dan kelemahannya yang tidak dipunyai oleh bahan batu. Bahan batu pun punya sifat-sifat, kekuatan dan kelemahan yang tidak dipunyai oleh kayu. Kita harus menempatkan mereka menurut bakat, watak mereka. Bentuk mereka pun harus cocok dengan bahasa dan citra mereka. Tidak semua unsur bangunan bisa dibuat dari batu, dan bakat kayu mana yang cocok untuk suatu konstruksi tertentu, itu pun harus kita kenal dari DALAM, dari koderat kayu itu sendiri.

Sebenarnyalah, apakah kita membangun gubug atau kios atau pun istana bertingkat dua puluh, persoalan pada sendi-dasarnya adalah sama. Tentu saja membangun gedung tinggi dan hebat-sulit-rumit membutuhkan pemikiran dan alat-alat para ahli. Akan tetapi hukum-hukum dan prinsip-prinsip yang harus didengarkan oleh para ahli adalah sama bahasanya dengan yang harus diperhatikan oleh orang sederhana. Karena isi dan bahasa hukum-hukum alam hanyalah satu.

Kita bisa melihat sendiri dalam kehidupan alam raya. Bandingkan susunan dan prinsip-prinsip tubuh ikan mujahir dengan tubuh manusia.

Kita lihat, bahwa memang benar tubuh manusia jauh lebih bagus, lebih rumit dam sempurna daripada tubuh ikan mujahir. Namun dalam segi hukum-hukum proses kehidupan dan penghidupan biologis, tidaklah berbeda secara prinsip.Fungsi serta cara susunan pertulangannya misalnya, prinsip yang disebut makan dan pencernaan, prinsip penglihatan dan pernafasan dan sebagainya itu semua memakai SUSUNAN DASAR dan azas-azas pelangsungan hidup yang sama.

Begitu jugalah kita dalam menghadapi masalah-masalah bangunan. Kita harus belajar menyaring dan membaca hukum-hukum pokok yang bekerja di situ. Artinya, kita harus melatih diri melihat kewajaran dalam sistim bangunan. Dan yang lebih penting lagi: kita harus melatih diri untuk bekerja wajar.

3.3

Wajar adalah sama dengan jujur, tidak suka mencari-cari yang bukan-bukan. Tekun dan ikhlas mendengarkan dan mengintip bahasa alam. Tidak hanya ingin memaksakan nafsu dan sok-tahu kita. Kita harus selalu membiasakan diri bertanya: mengapa, dengan dasar apa ini, begini atau begitu. Apa maksudnya dan sebab-musabab apa yang ikut berbicara di sini DARI DALAM. Bahan apa yang agaknya akan kita pilih, bagaimana susunan titik-simpul konstruksi nanti, dan dipasang bagaimana, serta dalam urut-urutan mana. Itu semua harus kita tanyakan dari bahan dan persoalan DARI DALAM. Dan ternyatalah nanti, bahwa alam sendirilah yang akan "mewahyukan" sistim dan cara serta bentuk yang harus dipilih. Karena siapa lagi selain bahan dan alam itu yang bertugas untuk menjadi rumah, menjadi gedung. Jadi selayaknyalah kita "menanyai mereka", mengenai bakat dan kesanggupan mereka. Maka sangatlah bagus apa yang dikatakan oleh seorang arsitek besar dari Chicago USA, yakni Luis Sullivan:

"SETIAP SOAL SUDAH MENGANDUNG DALAM DIRINYA SENDIRI PENYELESAIAN SOALNYA."

Setiap soal minta jawaban. Dan jawaban itu secara murah-hati sebenarnya sudah tersedia (meski masih terselubung) di dalam soal itu sendiri. Kesulitan kita biasanya ialah, bahwa kita cenderung untuk lebih suka mendengarkan keinginan dan nafsu kita sendiri. Itulah selubung yang paling sulit kita singkirkan. Kita pernah lihat ini itu di sana di situ, lantas kita terbakar untuk menjiplaknya. Dan tanpa kita tanya dulu apakah di sini tepat atau tidak, tanpa bertanya dulu situasi-kondisi, lalu kita sudah mulai mendikte harus begini harus begitu. Terlalu malas untuk bertanya kepada alam sekeliling, kepada bahan yang tersedia, kepada kemampuan yang mungkin. Misalnya: kehidupan iklim tropika panas lembab diberi jas setelan wool dasi yang panas dan mencekik. Ya begitulah biasanya kita. Juga

begitulah kita dalam dunia teknik/seni bentuk bangunan dan kebudayaan berdiam. Kehidupan kongkrit di Indonesia begini, tetapi anehnya wadah perumahan didatangkan dari budaya perumahan Eropa Amerika misalnya.Banyak yang tidak cocok, menghambat kehidupan yang wajar dan akhirnya lantas menjadi mahal. Hanya karena kita segan bertanya dan tekun diam mendengarkan "wahyu" yang dibahasakan oleh kehidupan dan alam kita yang nyata di tanah air kita sendiri. Pernah suatu lembaga resmi membuat rumah teladan berbentuk joglo Jawa yang maksudnya "dimodernisasi" dengan konstruksi rumah Barat. Ketika angin puyuh datang, rumah-rumah kampung tetap tegak bertahan, akan tetapi rumah teladan tadi tertiup angin dan ambruk. Penyelesaian soal: joglo dan pendopo Jawa, tetapi dicari penyelesaian soalnya dari Barat.

Maka maksud utama buku sederhana ini sederhana saja: menghantar pembaca ke arah pengertian dan ketrampilan duga-rasa yang peka terhadap watak, sifat-sifat fisika, kodrat dan bahasa-dalam dari bangunan di alam tropik kita ini yang serba lembab dan yang belum berteknologi tinggi. Demikianlah semoga kita dapat selalu membangun secara bertanggungjawab.

4. GUNA DAN CITRA *(lihat gambar 1)*.

4.1

Bangunan, biar benda mati, namun tidak berarti tak "berjiwa". Rumah yang kita bangun ialah rumah manusia. Oleh karena itu merupakan sesuatu yang sebenarnya selalu dinafasi oleh kehidupan manusia, oleh watak dan kecenderungan-kecenderungan, oleh nafsu dan cita-citanya. Rumah selalu adalah CITRA sang manusia pembangunnya. Seperti pakaian kita juga. Dari pakaian, orang lain dapat mengambil kesimpulan banyak tentang watak-sikap si pembuatnya, tentang cita-citanya yang mulia atau kekosongannya. Tidak berbeda dari pakaian, rumah memBAHASAkan diri kita. Ada rumah yang latah, ada rumah yang manis, rumah yang keramat, ya bahkan ada rumah yang gila. Tentulah itu datang dari dia yang membuatnya.

Maka dalam membangun rumah atau bangunan lain, ada dua lingkungan masalah yang perlu kita perhatikan:

Lingkungan masalah GUNA dan
Lingkungan masalah CITRA.

Gambar no. 1

GUNA:

Perhatikan lumbung padi dari Minang di sebelah ini peri hal efisiensi *kegunaan* maupun *konstruksinya*. Wadah padi tinggi di atas tanah. Jadi kering. Jalan hama tikus dan sebagainya mudah dikontrol. Dinding cukup rapat menahan hujan. Namun cukup berlubang demi kelancaran ventilasi isi, agar jangan membusuk bila terkena kelembaban. Berkat bahan bambu. Atap sangat terjal sehingga air hujan cepat pergi mengalir. Kulit atap rapat dari seng. Tetapi di jaman dulu atap dibuat dari ijuk. Tahan-air dan karena tebalnya kedap-air juga. Rapat-kedap, namun tetap memungkinkan penguapan sisa-sisa air di selah-selah serabutnya. Konstruksi kerangka berbidang-bidang dinding yang tidak bertugas memikul beban, selain pewadahan padi. Tiang-tiang dibuat tidak sejajar, melainkan melebar ke atas. Itu mempertinggi kekakuan sambungan-sambungan tiang dengan balok-balik horisontal.

Begitu dijawab bagus persoalan daya-daya momen yang bekerja pada sambungan-sambungan, sebagai akibat dari daya-daya horisontal dari kekuatan-kekuatan angin dari samping, dari torsi (perputaran) akibat adayaberat padi dan sebagainya. Masih diperkuat lagi oleh sekur-sekur silang. Keempat tiang cukup berdiri atas alas batu kerempeng. Batu menghalang-halangi kelembaban masuk tiang. Peletakan bebas pada sendi semacam ini benar-benar kebal terhadap goncangan-goncangan gempa-bumi. Sungguh suatu cara berkonstruksi yang bermutu tinggi dan berpengetahuan mengatasi alam yang sangat cerdas.

CITRA:

Perhatikan sekarang bentuk dan gaya-bahasa lumbung-padi ini. Laras terhadap alam sekitar, yang bergunung-gunung memuncak seperti atap lumbung itu. Alas sempit dan tubuh melebar semakin ke atas mencitrakan manusia Minang yang tidak berbudi rendah, tetapi bagaikan asap gunung-berapi, membubung dan semakin melebar di atas. Seperti pohon-pohon juga. Citra manusia yang tidak tenggelam, tetapi yang dari kodratnya duduk dan berdiri di atas panggung. Artinya menguasai alam. Namun melaraskan diri secara ikhlas dengan alam. Lumbung dipakai dari bahan-bahan alamiah. Tetapi di sini lumbung bukan hanya gudang-belaka, bukan alat atau budak belaka. Tetapi ia dibentuk luwes elegan, dihias seperti bahasa pantun atau kekawin. Walaupun "hanya" lumbung, namun bangunan kecil ini membahasakan jiwa Minang. Dan semoga jiwa bangsa Indonesia juga, yang rajin dan cerdas mempergunakan modal anugerah bumi-alam tanah-air. Namun yang tidak hanya mengejar efisiensi belaka atau pragmatika hantem-kromo.

Citra jiwa yang mengerti keindahan, kewajaran, kejujuran, keluwesan, budi-bahasa tinggi terungkap di lumbung ini. Balok dan batang-batang yang horisontal menunjuk kepada alam sekitar dan sesama manusia, tiang dan atap dari sempit ke lebar menjulang ke atas bagaikan lancip anak-panah menunjuk kepada Tuhan Yang Maha-Esa beserta nilai-nilai kebaikan dan keindahan hidup yang asli dan yang selalu didambakan setiap manusia, bukankah itu yang memancar dari citra bangunan kecil ini?

4.2 Guna

Perkataan "guna" menunjuk pada keuntungan, PEMANFAATAN ("use",bhs Inggris) yang diperoleh. PELAYANAN yang dapat kita dapat darinya. Berkat tata-ruangnya, pengaturan fisik yang tepat dan efisiensi, kenikmatan (comfort) yang kita rasakan di situ dan sebagainya. Guna dalam arti kata aslinya tidak hanya berarti bermanfaat, untung materiil belaka, tetapi lebih dari itu: punya DAYA yang menyebabkan kita bisa hidup lebih meningkat. Bila udara panas, rumah bisa berGUNA, berDAYA guna, karena di dalamnya tetap sejuk, suasana kerja tergairah, iklim pergaulan lebih enak dan sebagainya. Bila malam dingin, di dalam rumah tetap hangat. Demikian suasana di dalam bisa lebih hangat juga. Tidur nyaman dan sebagainya. Bila kita bekerja dalam dapur yang efisien keGUNAannya, maka makanan juga lebih lezat, karena cara kerja lebih menyenangkan dan sebagainya.

4.3 Citra

Semua itu sangat bertalian dengan CITRA rumah. Citra sebetulnya hanya menunjuk suatu "gambaran" (image), suatu kesan penghayatan yang menangkap ARTI bagi seseorang. Citra gedung istana yang megah besar tentulah melambangkan kemegahan juga, kewibawaan seorang kepala Negara misalnya. Dan gubug reyot adalah citra yang langsung menggambarkan keadaan penghuni miskin yang serba reyot juga keadaannya.

Citra tidak jauh sekali dari guna, tetapi lebih bertingkat spirituil, lebih menyangkut derajat dan martabat manusia yang berumah. Sekali lagi sama dengan pakaian manusia. Pakaian manusia pun tidak berfungsi pertama-tama untuk menutupi dan melindungi tubuh terhadap panas, dingin. Tetapi yang paling utama diemban oleh pakaian ialah CITRA manusia yang memakainya. CITRA MENUNJUK PADA TINGKAT KEBUDAYAAN SEDANGKAN GUNA LEBIH MENUDING PADA SEGI PERADABAN. Dalam rangka GUNA kita bertanya, bagaimana umpamanya kamar bisa nikmat suhu dan kelembabannya, bagaimana ruang-duduk bisa nikmat jasmaniah dan sebagainya. Seperti mesin mobil umpamanya tidak berbeda-tugas dari kuda andong atau gerobak, tetapi jauh berganda hasil tariknya, demikian juga rumah bisa juga dipandang sebagai salah suatu alat untuk mempergandakan hasil proses kehidupan dan kediaman, dalam arti hasil prestasi, produksi dan sebagainya.

Tetapi semua itu belum mengungkapkan dan menyinarkan sesuatu yang paling menjadi ciri kemanusiawian manusia yang diam dalam rumah. Yakni: segi kebudayaannya, segi spirituilnya. Rumah memang bisa dianggap sebagai mesin, alat pergandaan produksi. Tetapi lebih dari itu, rumah atau bangunan lain adalah CITRA, cahaya pantulan jiwa dan cita-cita kita. Ia adalah LAMBANG yang MEMBAHASAKAN segala yang manusiawi, indah dan agung dari dia yang membangunnya; kesederhanaan dan kewajarannya yang memperteguh hati setiap manusia. Rumah memang kita gunakan, namun lebih dari itu, rumah adalah cermin dan bahasa kemanusiaan kita yang bermartabat.

Masalah citra tidak banyak diuraikan dalam buku sekecil ini, karena membutuhkan pembicaraan yang lebih luas dan dalam. Buku ini lebih mengutamakan pembicaraan tentang persoalan guna bangunan, teknik-nya, fungsi, konstruksi, kenikmatan fisiknya dan sebagainya.

5. PEMBAGIAN BUKU

Karena segala yang kita bangun merupakan kesatuan dengan alam sekeliling kita dan juga dipengaruhi olehnya, maka sepantasnya kita mempelajari dulu situasi tempat dan iklim kita di daerah tropik lembab ini, tempat bangunan-bangunan kita diletakkan. Pengaruh sinar matahari, hujan dan kelembaban, pengaruh angin, gempa-bumi serta kesatuan kehidupan dengan dunia tumbuh-tumbuhan serta binatang harus ikut kita pertimbangkan juga dalam merencanakan dan melaksanakan bangunan-bangunan kita.

Barulah kita bisa lebih masuk ke dalam soal-soal khusus yang menjadi unsur-unsur penentu pokok kenikmatan (comfort) fisik bangunan-bangunan kita. Soal sengat matahari dan kesilauan cahayanya, beserta suhu panas tropika perlu kita ketahui demi pertimbangan-pertimbangan kenikmatan kediaman dan sebagainya. Demikian juga masalah yang paling gawat dalam daerah kita, yakni kelembaban dengan segala akibatnya, kebutuhan akan angin dan pergantian udara (ventilasi), soal-soal pencahayaan dan penerangan bangunan, lagi masalah-masalah akustik bangunan dan elektro-statika yang mempengaruhinya akan mendapat giliran juga.

Tentulah semua itu tidak dapat dibicarakan secara tuntas karena memang masalahnya banyak sekali. Suatu pemilihan dan pembatasan diri terpaksa harus kita kerjakan. Maksud buku ini memang, sekali lagi, bukan agar seluruh seluk-beluk serta detail bangunan dibicarakan habis-tuntas di sini, akan tetapi agar para murid semakin mendapat pengertian dari dalam, bagaimana sewajarnya kita kelak dapat menangani soal dan mengetrapkan teori ke dalam contoh kenyataan praktis-konkrit. Oleh karena itu gambar-gambar konstruksi, foto-foto dan sebagainya yang mengiringi naskah di sini hendaknya jangan juga dianggap sebagai gambar detail yang berlaku untuk segala keadaan. Akan tetapi hanyalah salah satu contoh dan alat penerang saja dari permasalahan. Kemungkinan-kemungkinan konstruktip lain bisa dicari atau diciptakan sendiri, menurut situasi dan kondisi kita masing-masing. Bahkan mungkin konstruksi karangan sendiri nantinya bisa jadi lebih ekonomis, lebih praktis dan lebih bertanggungjawab dari pada yang terdapat dalam buku-buku pelajaran manapun. Asal inti persoalan terolah dan dikerjakan secara benar. Terutama dalam negara berkembang kita harus lebih kreatip dan mencoba kemungkinan-kemungkinan lain, yang menurut situasi dan kondisi lebih tepat, walaupun belum pernah ada.

Baik juga diingatkan, bahwa angka-angka statistik, perhitungan-perhitungan serta rumus-rumus matematik yang diajukan di sini tidak juga dimaksudkan agar dihafalkan belaka dan ditrapkan secara fanatik pada setiap keadaan kongkrit yang kita hadapi nanti. Akan tetapi sama dengan di atas tadi: untuk mengajak kita memahami seluk-beluk permasalahan, demi suatu kebijaksanaan kreatip nanti.

Uraian-uraian dalam pasal-pasal buku ini bersifat umum dan mengenai sebagian besar bangunan yang disebut konvensionil dan yang sudah lazim dikerjakan sistimnya di tanah kita. Namun sekali lagi yang dimaksud ialah pengembangan daya kreatipitas dan pengolahan ekonomi dari bacaan Anda sendiri.

Setiap pasal buku ini selalu terdiri dari tiga bagian:

1 Hal-hal umum yang secara global melingkari permasalahan.

2 disusul dengan pembicaraan soal-soal khusus secara teoritis.

3 diakhiri dengan beberapa saran praktis.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Akhirulkalam terimakasih kami ucapkan kepada rekan-rekan sahabat saudara Ir. P.J. Soedarjono dosen UGM Fakultas Teknik Bagian Mesin dan Listrik, dan saudara Ir. J.B. Hendradjati, dosen UGM Fakultas Teknik Bagian Sipil yang telah sudi mengoreksi naskah kami serta menyumbangkan saran-saran berharga demi perbaikan isi dan bahasanya. Dan tiada lupa, terimakasih banyak kami sampaikan kepada sdr. Drs. A. Jokowasono beserta istri Emmy, ny. Th. Trisnanti Sunaryo dan ny. Kristina Budiarti Hendrosubekti, kepada adik-adik mahasiswa-mahasiswi, saudara-saudari Ahmad Fanani, Amien, Nana Mardio, Ida Kurminiarsih, Sri Wuryaningsih yang telah membantu kami peri hal penyelesaian naskah beserta gambar-gambar ilustrasinya.

Akhirnya terima kasih saya ucapkan kepada Penerbit Djambatan yang telah bersedia menerbitkan kembali buku kecil ini. Mudah-mudahan buku cetakan ketiga ini masih tetap dapat memenuhi harapan dan kebutuhan para pemakai.

Kritik dan saran untuk perbaikan tentulah kami harapkan dari semua pihak.

Yogyakarta, September 1988 *Dipl. Ing. Y.B. Mangunwijaya*
Fakultas Teknik Bagian Arsitektur
Universitas Negeri Gadjah Mada

II

PERTIMBANGAN - PERTIMBANGAN PENGARUH ALAM

UMUM: KITA TINGGAL DI KAWASAN TROPIKA LEMBAB

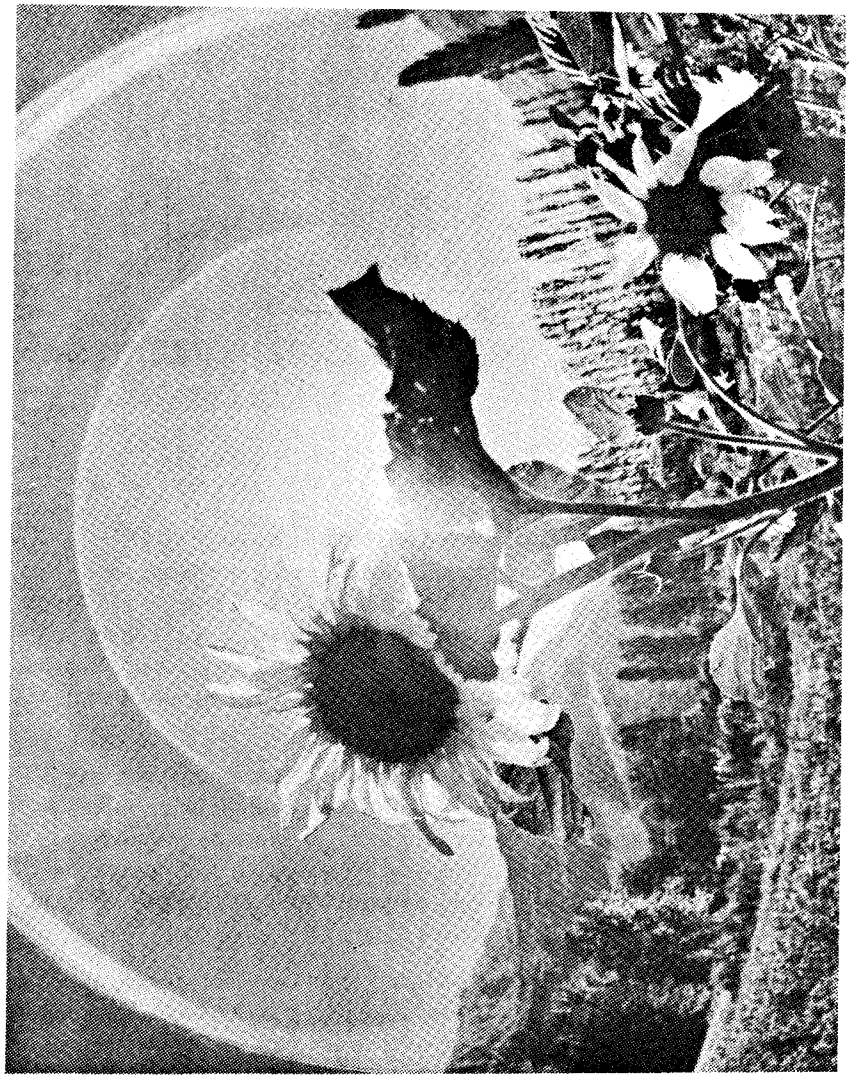
Tempat kita membangun terletak di kawasan yang beriklim tropik panas. Ada daerah tropik panas dan *kering*. Misalnya di tanah Arab Utara, Meksiko dan sebagainya. Tetapi iklim yang kita temui di sini adalah panas namun *lembab*. Ada beberapa daerah di beberapa pulau Nusa Tenggara yang lebih kering dari pada lembab. Tetapi tidak sepanjang tahun atau pun abad.

Suhu panas memang ciri khas daerah yang disebut daerah tropika. Tetapi dalam kenyataannya sehari-hari, hal yang paling menimbulkan soal dalam masalah bangunan di negeri kita ialah problim pelembaban. Oleh karena itu kondisi serta prinsip-prinsip penyelesaian soal bangunan di daerah panas dan lembab berpijak pada titik-titik tolak yang berlainan daripada yang di daerah panas dan kering.

Selain faktor *iklim*, kita pertimbangkan juga pengaruh-pengaruh yang datang dari kondisi *bumi* atau *tanah*, tempat kita letakkan bangunan-bangunan kita. Tentulah banyak sekali macam dan ragam pengaruh itu. Kita ambil yang paling pokok saja yang berhubungan dengan masalah bangunan.

Ada empat sumber pengaruh alam di sini yang harus kita perhatikan:

Dari iklim:	1. pengaruh sinar (radiasi) matahari.	(pasal 1)
	2. pengaruh hujan dan kelembaban.	(pasal 2)
	3. pengaruh angin.	(pasal 3)
Dari bumi :	4. gempa bumi.	(pasal 4)



Gambar no.2a

1. SINAR MATAHARI

1.1 Macam-macam sinar

a. Penyinaran matahari merupakan gugusan penyebaran pengaruh radiasi yang sangat kompleks susunan serta akibatnya. Itu sangat terasa oleh orang yang sedang menderita sakit, terutama sakit saraf atau oleh orang kota yang biasa duduk di dalam ruangan kantor dan sekali waktu terkena sinar matahari lama sekali karena mandi di tepi pantai.

b. Sinar-sinar menyengat dan menusuk orang yang tidak membiasakan diri bertahan terhadap ketajaman matahari (misalnya orang berkulit tidak gelap, sedikit pigmen). Bahkan bisa jadi orang itu jatuh pingsan atau sakit tersengat matahari. Dari pihak lain sinar-sinar *jingga ultra (ultra violet)* dari spektrum cahaya matahari terkenal berdaya mematikan kuman-kuman yang dapat berbahaya karena memiliki daya kimia. Dan banyak sinar lainnya yang menembus tubuh manusia ataupun tanah yang membawa kesehatan dan kesuburan.

c. Sinar-sinar *merah infra* adalah pembawa utama daya kalor dari matahari. Sinar panas merupakan syarat mutlak kehidupan dan penghidupan mahluk-mahluk di bumi.

d. Sinar yang terasa sangat vital juga adalah sinar *cahaya terang*.
Gejala cahaya dan penerangan dari matahari merupakan suatu hal yang sangat penting namun kompleks juga dan masih dalam penelitian terus menerus dari para ahli. Bagi arsitek unsur cahaya bahkan merupakan elemen yang tergolong terpenting, yang bisa menentukan hidup-mati suatu karya arsitektur. Begitu penting, sehingga LE CORBUSIER mendefinisikan arsitektur sebagai "permainan arif, benar dan agung, dari gatra-gatra (volumes) di dalam cahaya".

e. Sebenarnya masih banyak jenis sinar lain yang tidak datang dari matahari, tetapi dari seluruh angkasa raya. Semua itu masih dalam penelitian para ahli dan manusia belum banyak mengetahui bagaimana sebetulnya seluk-beluknya. Demi mudahnya sinar-sinar itu disebut dengan nama umum: sinar-sinar ***kosmis*** (kosmos = semesta alam).

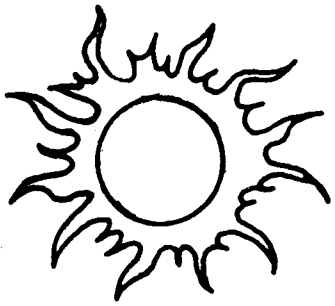
f. Sinar matahari sampai di bumi sudah tidak dalam keadaannya yang murni seperti di kehampaan angkasa raya. Ia sudah disaring oleh sekian banyak lapisan udara *(gambar 2b)*.

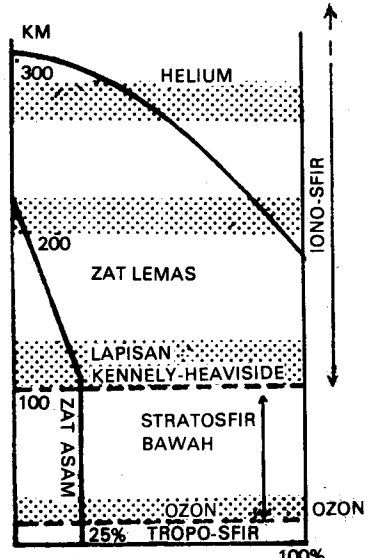
Gambar No.2b Bumi diselimuti lapisan lapisan gas yang meninggi sampai kira-kira 1000 km di atas permukaan bumi. Itu sangat tipis bila dibanding dengan jari-jari bola-bumi sedalam kira-kira 6000 km. Lapisan tertinggi begitu ringan dan karenanya mudah sekali melayang lari hampir tak teraih oleh daya tarik (gravitas) bumi. Disebut **exosfir.** *Lapisan-lapisan di bawahnya cukup "terpegang" oleh daya-tarik bumi dan karenanya agak stabil. Keseluruh-annya disebut* **atmo-sfir.**

Lapisan paling atas atmosfir disebut **strato-sfir.** *Terdiri dari dua bagian: yang atas (antara ketinggian 100 Km sampai 1000 Km punya sifat penghantaran listrik yang besar, yang disebabkan oleh ionisasi udara oleh sinar-sinar ultra-violet matahari. Lapisan ion itulah yang bekerja sebagai cermin pemantulan gelombang-gelombang pendek radio, sehingga dapat melompat-lompat sekitar bola-bumi. Dari 8-17 Km sampai 100 Km (jadi sampai permukaan "cermin ion" yang disebut lapisan* **Kennelly-Heaviside,** *lapisan disebut stratosfir bawah.*

Di bawah stratosfir sampai dengan bumi adalah lapisan **tropo-sfir.** *Troposfir dan stratosfir dipisahkan oleh yang disebut lapisan tipis* **tropopause.** *Di lapisan bawah stratosfir, pada ketinggian 20-30 Km banyak timbul gas* **Ozon** *(lapisan Ozon) yakni zat-asam dengan tiga atom Oxygen. Lapisan Ozon ini sangat vital sebagai perisai terhadap sinar-sinar ultra-violet berlebihan dan untuk keseimbangan keseluruhan troposfir perihal kadar zat asam yang sangat dibutuhkan oleh makhluk-makhluk hidup di bumi. Oleh pengotoran udara yang ditimbulkan polusi industri (pesawat pesawat terbang stratosfir misalnya) yang menghembuskan zat-zat kimia tertentu ke udara tanpa dikontrol, keseimbangan zat-asam dan khususnya lapisan ozon ini lambat laut bisa dibahayakan, bila bangsa manusia lengah tidak mau sadar akan akibat-akibat industri dan "modernisasi" secara ngawur.*

Seumumnya hawa udara atmosfir terdiri dari uap-air, zat-lemas (Nitrogen) dan Helium. Dengan sendirinya lapisan-lapisan paling atas banyak mengandung gas-gas ringan sedangkan gas-gas yang nisbi lebih berat tinggal di bawah. Walaupun masalah lapisan udara bumi secara langsung tidak menyangkut soal bangunan, akan tetapi dalam merencana dan mengatur tata-lingkungan serta tata-bangunan kita tetaplah harus memperhitungkan, bahkan menyelamatkan segi-segi alamiah yang vital untuk kehidupan manusia.





Gambar no. 2b

Dengan pembatasan pengertian itu kita menilai bahasa sehari-hari yang berkata: sinar matahari langsung mengenai bumi, bila angkasa serba biru bersih dari awan. Bila terdapat banyak awan (dan di daerah tropik-lembab selalu banyak awan) sinar matahari bersinar langsung pada awan dan awanlah secara tidak langsung meneruskan sebagian dari sinar matahari ke bumi. Sebagian diserap awan. Dalam praktek perencanaan bangunan, cahaya yang tidak langsung dari awan, yang biasanya sangat menyilaukan mata, sering lebih harus kita perhatikan dari pada yang langsung. Perantara sinar matahari, selain awan-awan, adalah bidang-bidang pemantul gedung-gedung tinggi dan dinding-dinding luas. Terutama bila mereka seperti lazimnya dikapur putih, sehingga bertambahlah penyilauan.

1.2 Suhu tropika

Karena kawasan kehidupan kita ada di daerah tropika, dengan kata lain: di dekat *khatulistiwa,* maka sudut jatuh sinar matahari ke bumi dapat di sebut tegak lurus. Maka jumlah sinar per kesatuan luas (m^2, cm^2) mencapai angka yang besar. Pada tanggal-tanggal 20 Maret dan 23 September jumlah itu mencapai maksimum (teoretis), karena pada hari-hari itu matahari sedang melintasi khatulistiwa. Dan pada tanggal-tanggal 21 Juni (di Utara) dan 22 Desember (di Selatan) jumlah tersebut mencapai minimum. (atau bisa juga maksimum, tergantung di tempat mana kita berdiri). Mudah dipahami, bahwa ukuran yang disebut minimum untuk daerah tropika masih cukup besar juga untuk daerah-daerah beriklim sedang.

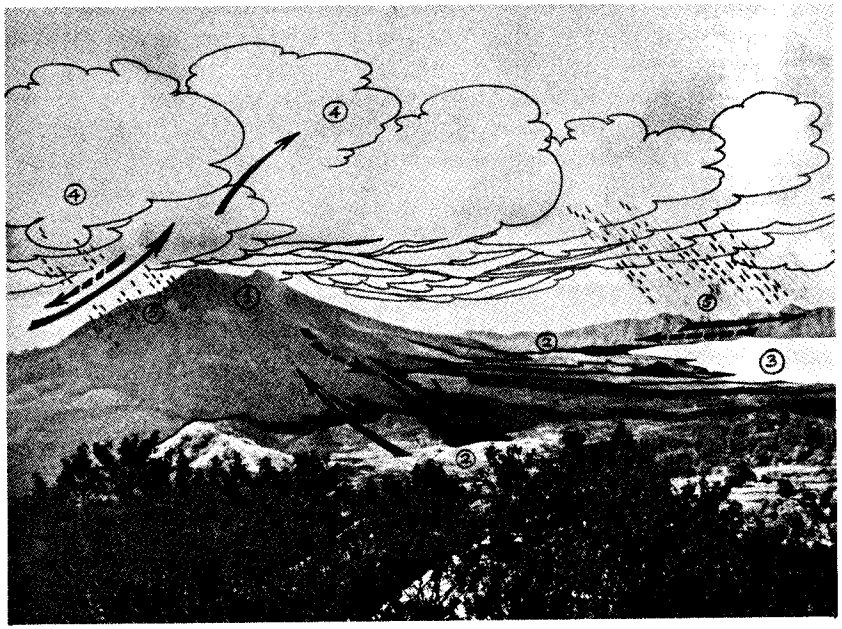
Dalam kenyataannya, disebabkan oleh tata susunan daratan dan lautan kawasan Nusantara kita, tetapi terutama oleh kedudukan dua samudera besar serta dua benua di sekeliling tanah-air kita, maka tempat-tempat di mana terdapat sinar matahari maksimum atau minimum tidaklah tepat menurut ukuran garis *khatulistiwa geografis* ataupun garis-garis lintang 23,5° Utara/Selatan (yang disebut garis tropik Cancer/Capricorn). Batas-batas kawasan jalur tropika tidak lurus, tetapi mengikuti lengkung-lengkung bebas seperti yang tampak pada gambar 5 (Keterangan selanjutnya lihat Pasal 1.3).

Akibat langsung dari penyinaran matahari dan yang lazim dianggap merupakan ciri khas paling menonjol dari daerah tropika ialah *SUHU* yang serba panas. Tetapi ada tempat-tempat, misalnya di lereng-lereng gunung keadaan hawa bisa sangat dingin. Bahkan di pegunungan Irian Jaya, sebagian puncak gunung selalu diselimuti es.

Suhu tinggi atau rendah di suatu tempat dipengaruhi juga oleh beberapa sebab pokok, di antaranya:

PERPUSTAKAAN DAERAH

a. susunan gunung, lembah dan dataran
b. kehadiran bidang-bidang air luas
c. ketinggian tempat di atas air laut
d. keluasan daerah pulau dan keadaan tumbuhan
e. kelembaban, keadaan awan serta arus angin.



Gambar no. 3

1. *Puncak gunung*
2. *Lembah, tanah ngarai*
3. *Danau*
4. *Udara, awan cukup panas, uap air belum kondensasi*
5. *Udara dingin, membuat awan berkondensasi, hujan turun*

——→ *1) arus udara panas ringan*
- - - - - - - - - → *arus udara dingin berat*
——→ *2) arus angin dari lembah ke puncak pada malam hari*
- - - - - - - - - → *arus angin dari gunung ke lembah pada siang hari*
——→ *3) arus angin dari darat ke laut/danau pada malam hari*
- - - - - - - - - → *arus angin dari laut/danau ke darat pada siang hari*

Keterangan tentang pasal II 1.2 (gambar 3)

a. Susunan punggung-punggung gunung yang menimbulkan banyak bayangan sejuk di lembah atau di lereng sangat mempengaruhi suhu udara di suatu tempat. Demikian pun susunan topografis suatu pulau bisa menguntungkan atau menghalangi gerak angin yang berperan besar dalam penentuan suhu. Ada daerah yang permukaan tanahnya mudah menghisap panas matahari (daerah pasir hitam berbatu, gersang). Ada yang mudah memantulkan kembali panas yang diterimanya (pasir putih misalnya).

b. Yang sangat membantu kesejukan ialah jumlah dan luas permukaan air danau, bengawan, kanal, rawa-rawa, waduk dan sebagainya yang menyerap banyak panas dari tanah dan udara sekelilingnya. Semakin dalam airnya, semakin banyak pula panas yang diserap oleh air. Dan ternyata penyerapan itu sampai pada ke dalam sekali. Selain itu air menguap terkena matahari. Begitulah suhu di sekitarnya ikut diturunkan lagi, karena penguapan selalu membutuhkan kalori. Sebaliknya pada malam hari, tanah-tanah di sekitarnya lekas mendingin. Namun persediaan panas dalam air dilepas secara relatip perlahan-lahan. Demikian pada malam hari suhu perairan relatip masih hangat karena persediaan panas yang terhimpun dalam air itu.

c. Kita mengerti, bahwa suhu rata-rata sesuatu tempat tergantung juga dari ketinggian tempat itu di atas laut. Semakin tinggi, semakin menurun pula suhu rata-rata. Bandingkan beberapa angka di bawah ini:

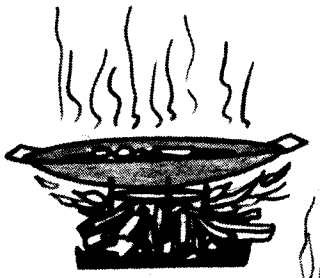
Tempat	Tinggi di atas laut	maksimum °C	minimum °C
Lago Boti, tepi danau Toba	900 M	32,8°	15°
Siborong-borong, dataran tinggi Toba	1150 M	29°	14°
Gunung Pangrango	3023 M	19,8°	2,6°

Menurut *J.H. Houbolt* ("Iklim di Indonesia" Bdg 1954), seumumnya kita dapat berpedoman, bahwa untuk seluruh daerah di bawah 60° garis lintang, kenaikan 100 M membawa penurunan suhu sebanyak 0,57°C.

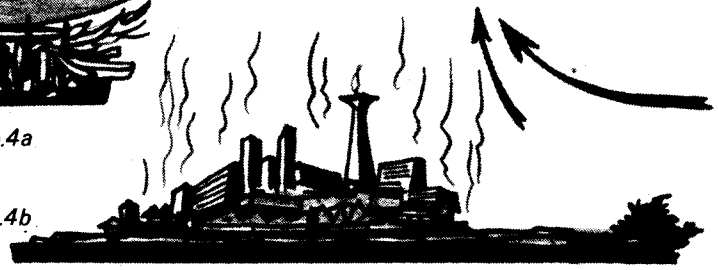
d. Sebagian panas matahari yang datang di tanah terpantul kembali dan sebagian dihisap tanah. Dari pengukuran-pengukuran ternyata bahwa: suhu paling rendah yang rata-rata terdapat di dalam tanah yang terkena sinar matahari adalah 30 cm di dalam tanah. Suhu rata-rata paling tinggi ada pada lapisan 60-90 cm di dalam tanah, sedangkan pada kedalaman 120 cm suhu rata-rata menurun lagi sedikit.

Mudah dipahami, bahwa tanah tandus kersang, apalagi bila serba penuh pasir atau pun batu yang mudah dimasuki dan menyimpan panas, lekas sekali menjadi tempat yang panas dan menjadi sumber panas sendiri juga. Panas itu disinarkan kembali ke sekitarnya atau diangkut oleh molekul-molekul udara di atasnya. Dataran luas sedemikian tentulah mudah menjadi lebih panas dari pada dataran-dataran kecil. Apalagi bila dataran kecil itu adalah pulau yang dikelilingi air, terhembus angin.

Suatu kota besar merupakan suatu pulau tandus juga, penuh dinding-dinding batu, genting-genting dan bidang-bidang beton maupun aspal. Tanaman relatip sangat kurang. Oleh karena itu suhu di dalam kota pada siang hari sangat panas dan pada malam hari relatip dingin. Kota terasa sangat panas jika angin pun tidak berhembus. Suhu kota Yogyakarta misalnya terasa lebih sejuk daripada di Surakarta, meski keduanya ada pada ketinggian yang sama di atas laut. Tetapi Yogyakarta terhembus angin dari laut dan Solo kurang, karena terhalang pegunungan Kapur Selatan. Tanah kapur yang kersang itulah lagi yang menambah panas daerah kota Surakarta *(gambar 4 a, b)*.



Gambar no.4a



Gambar no.4b

Dan jangan dilupakan, bahwa tubuh manusia pun sumber panas yang cukup besar, di samping panas yang dikeluarkan oleh sekian mesin dan mobil dalam kota. Suhu di Jakarta mencapai suhu maksimum tinggi 28.2°C. di tahun-tahun 1967 dan 1969. Sedangkan yang paling minimum yang tercatat selama periode 1966-1969 baru satu kali menurun sampai 25.8°C. (1968). Dari sebab itu jelaslah betapa besar harga pepohonan di dalam kota.

Dari penelitian suhu udara selama 40 tahun sejak abad 19, di Jakarta rata-rata terdapat dua titik maksimum dan minumum, yakni sampai dengan 1954; rata-rata:

	Maksimum °C		Minimum °C
Mei	26.51	Januari	25.28
Oktober	26.53	Juli	25.66
Bandingkan itu dengan pencatatan Periode 1956-1965: rata-rata:			
Mei	27.40	Januari	26.10
Oktober	27.70	Juli	26.80

Tampaklah, bahwa suhu rata-rata sudah naik sekitar 1°C.

Itulah angka rata-rata dalam suatu periode tertentu. Nilai maksimum yang pernah dicapai di Jakarta ialah 33°-37°C. Dan angka itu berlaku bagi segala tempat di Indonesia yang terletak di tepi pantai. Masih beruntunglah, bila kita bandingkan dengan kebanyakan tempat di India. Pernah berkali-kali suhu di Alahabad sampai 46°C, Yakobabad 49.5°C-52°C. Suhu tertinggi akhir-akhir ini yang pernah tercatat di Jakarta adalah 35.6°C (Nop. 1976) dan terendah 18.9°C (Sep. 1877).

e. Suhu di tanah akan lebih naik lagi, bila awan-awan tebal menggumpal tanpa hujan turun. Radiasi sinar matahari tetap menyinar terus ke bumi melalui pantulan awan-awan banyak. Akan tetapi panas itu seperti terkurung tidak bisa disinarkan kembali ke angkasa. Di daerah gunung berapi gunung pun sering naik suhunya, yang tentulah menambah derajad suhu. Terutama bila angin seolah-olah berhenti juga dan tidak membantu penguapan, yang memegang peranan penting dalam penurunan suhu keliling.

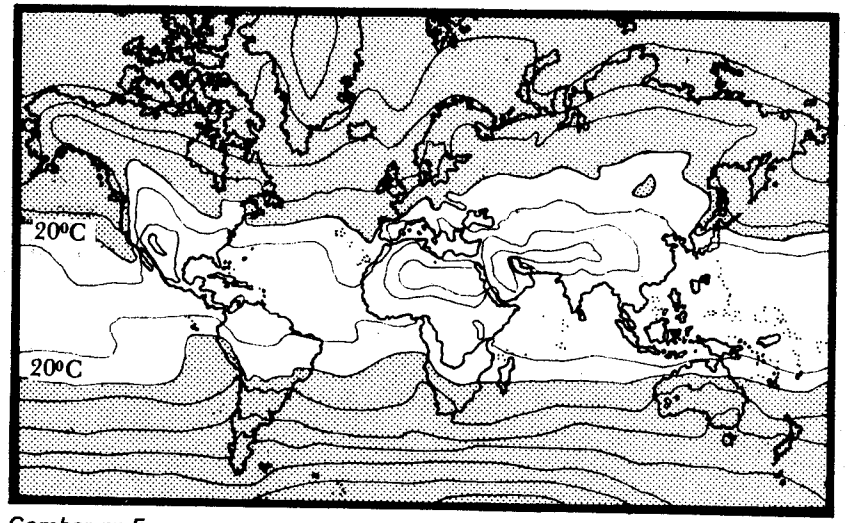
Ternyata di daerah tropika lembab, suhu dan kelembaban (kekenyangan kadar uap air di dalam udara) sangat bertalian satu dengan yang lain. Dan dalam hubungan itu, faktor angin (yang akan dibicarakan lebih lanjut dalam pasal 3) memegang peranan besar.

1.3 Daerah Tropika Isotherm

Dari sebab pengaruh sekian banyak keadaan dan perbandingan luas antara yang daratan dan yang lautan, maka tidaklah sulit dimengerti, mengapa garis khatulistiwa geografis bukanlah merupakan khatulistiwa suhu (thermis). Titik-titik dengan rata-rata suhu yang terbesar merupakan garis *khatulistiwa thermis* dan itu berjalan "tidak keruan". Demikian pun batas-batas daerah tropis secara thermis bukan sama dengan garis-garis

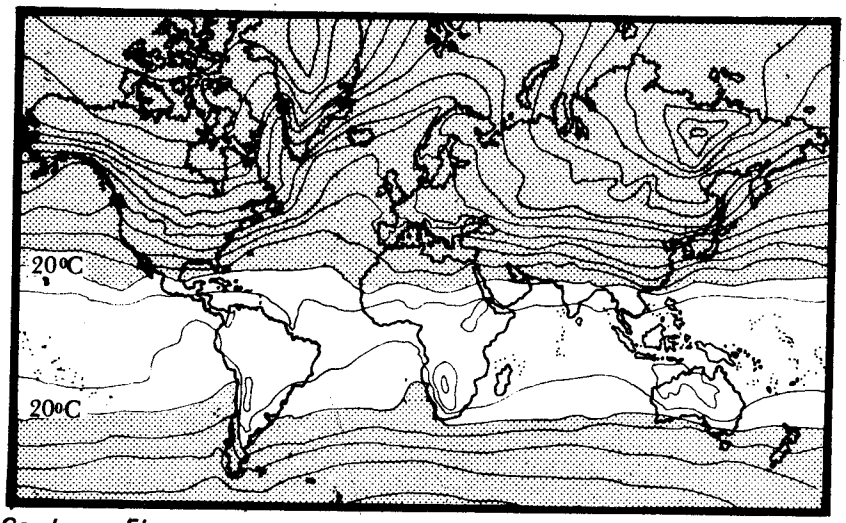
lintang 23.5°C Utara dan Selatan. Sebagai daerah tropik orang menentukan batas suhu rata-rata 68°F (20°C).

Semua titik yang punya suhu rata-rata 68°F (20°C) dihubungkan dan garis penghubung itu disebut *isotherm* 68°F (20°C). Jalur daratan di antara kedua isotherm 68°F (20°C) tersebut disebut daerah tropika yang sebenarnya menurut pengukuran suhu *(gambar 5 a, b)*.



Gambar no.5a

21 Juni



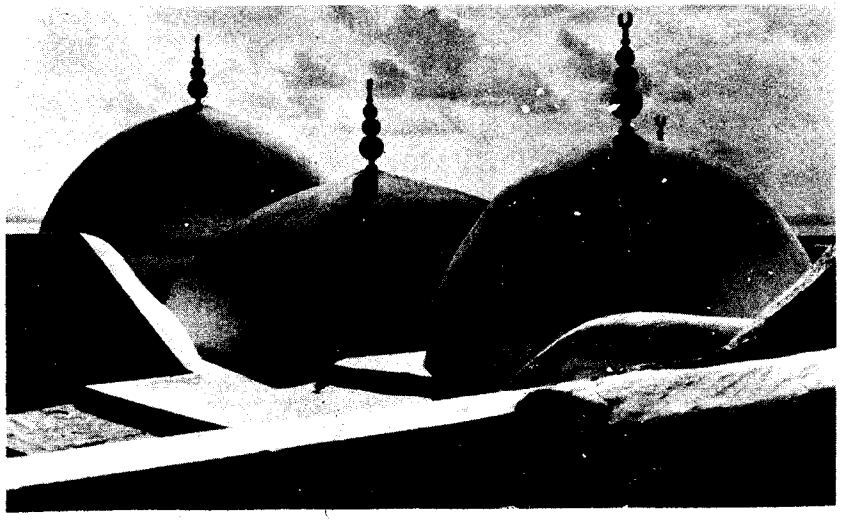
Gambar no.5b

22 Desember

Kita dapat membuat batas-batas dengan isotherm lain juga. Untuk arsitek dan ahli bangunan, pembatasan daerah tropika oleh isotherm lebih praktis dari pada pembatasan derajad lintang geografis. Kita dapat juga membagi-bagi Nusantara menurut daerah-daerah dengan isotherm yang diukur per bulan.

Dari gejala yang diuraikan di atas tidak sulit untuk dimengerti, bahwa suhu rata-rata maksimum dan minimum juga tidak terdapat tepat pada tanggal-tanggal 20 Maret/23 September atau 21 Juni/22 Desember, yaitu ketika matahari melintasi khatulistiwa atau tiba pada titik yang paling jauh di utara atau di selatan. Dari penelitian selama 40 tahun, suhu udara rata-rata menunjukkan dua titik maksimum dan minimum setiap tahunnya.

Sampai dengan 1954 (untuk Jakarta)			
minimum	maksimum	minimum	maksimum
16-20 Januari	11-15 Mei	5-9 Juli	13-22 Oktober
25.28°	26.51°	25.66°	26.53°
periode 1956-1965			
26.1°	27.4°	26.8°	27.7°



Perpaduan teknik bangunan dan cahaya matahari pada kubah-kubah mesjid Sidi bou Said di Tunisia.

Gambar no. 6 Banjir harus ikut kita perhitungkan sebagai salah satu faktor pertimbangan yang penting untuk banyak daerah pembangunan di tanah air kita. Karena masalah banjir sangat erat dengan daerah pegunungan gundul yang masih membutuhkan waktu lama untuk dihijaukan kembali, maka untuk banyak daerah ngarai pembangunan gedung-gedung / perumahan tak boleh melupakan faktor banjir.
Kita perlu belajar lagi dari para arsitek Belanda dan nenek moyang kita tempo dulu yang selalu membangun di atas tiang-tiang sendi yang tinggi, atau memasang lantai di atas pondasi-pondasi yang tinggi.
Perhatikan gedung-gedung Belanda yang antik yang masih tersisa di sementara kota.
Perhatikan juga sistem rumah panggung nenek moyang kita. Tidak semua yang kuno adalah jelek atau tak berguna lagi. Tidak semua yang modern dari luar negeri tepat untuk arsitektur Indonesia.

2. HUJAN DAN KELEMBABAN

2.0 **Umum**

a. Meskipun suhu tinggi merupakan ciri khas daerah tropik dan terutama di daerah-daerah pantai kita, namun dalam kenyataannya sehari-hari orang di pantai tidak terlalu merasa kesal terhadap suhu. Yang paling dirasakan sebagai penyebab ketidak-enakan bukan pertama suhu udara, melainkan kelembaban. Kelembaban yang tidak ditiup pergi oleh angin.

Khusus untuk daerah iklim tropika tanah-air kita yang bercurah hujan banyak dan berciri sangat lembab, pasal kelembaban harus amat kita perhatikan. Kelembaban ruangan membawa bahaya dan kerugian-kerugian:

mempermudah tumbuhnya penyakit, terutama rematik bagi orang-orang lanjut usia dan anak-anak yang berpembawaan penyakit dada dan sebagainya.

Dinding-dinding basah sangat mengurangi daya-isolasi kalor, sedangkan penguapan kebasahan dinding membuat ruangan menjadi dingin, menambah kadar uap-air di dalamnya.

Itu semua mendorong uap-air dalam ruangan untuk berkondensasi. (lihat pasal 2, 7).

Dari segi ketahanan unsur-unsur bangunan kelembaban itu sangat merugikan karena menunjang tumbuhnya jamur dan organisme-organisme pembusukan kayu, pengkaratan logam-logam, pengembangan dan pengeriputan panel serta bahan-pelat yang tidak kedap-air, seperti karton, hardboard, lapisan-lapisan cat-tembok, rontoknya plesteran dan sebagainya.

Dari segi keindahan, cat-cat dan bahan-bahan berubah warna serba tidak teratur.

Penumbuhan jamur, cendawan dan sebagainya menimbulkan bau busuk dan membuat udara ruangan tidak sehat.

b. Kelembaban dalam unsur-unsur bangunan datang dari:

Perembesan air-hujan dari luar ke dalam dinding dan atap.

Penyusupan air hujan melalui selah-selah pintu, jendela dan tempat-tempat sambungan lain yang tidak rapat dan yang dihisap oleh daya *kapiler* itu sendiri. (lihat Pasal 2.2, 2.3 dan 2.6)

Kondensasi uap-air di dalam ruangan atau di dalam unsur. (lihat Pasal 2.7)

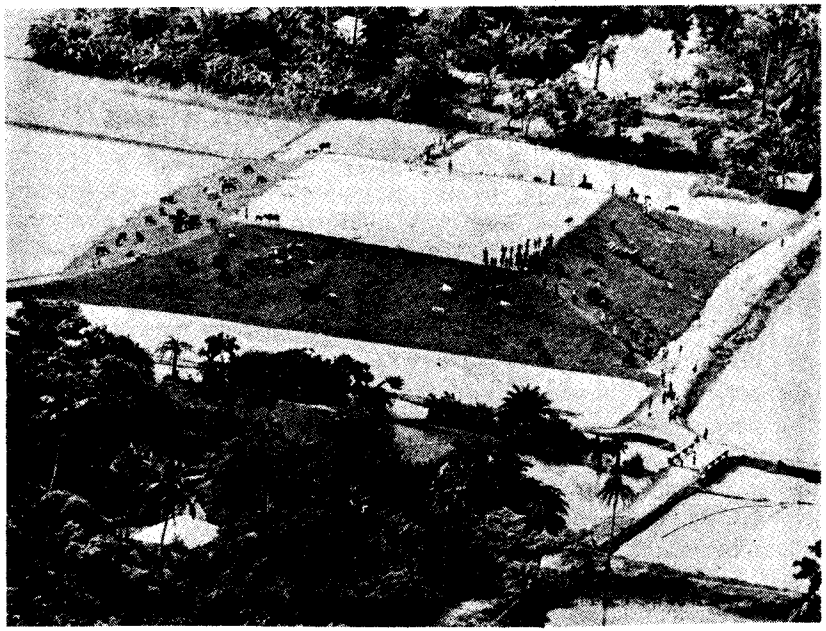
Difusi melalui lapisan bahan bangunan. (lihat Pasal 2.8)

Penyusupan air dari bawah, dari tanah melalui pondasi, dinding atau lantai ke atas (daya kapiler). (lihat Pasal 2.9)

2.1 **Curah hujan**

a. Kelembaban disebabkan pertama-tama oleh curah hujan yang berlimpah. Masalah hujan sangatlah kompleks dan sangat sering tidak bisa diperhitungkan.

Hujan tropik terkenal lebat juga dengan penyertaan angin puyuh. *(lihat gambar 6 dan 7).*



Gambar no. 7 Hampir 0,5 juta orang Bangladesh bertemu dengan maut dalam malapetaka siklon dan banjir mengerikan di tengah malam 12/13 Nopember 1970. Yang sempat mengungsikan diri beserta ternak ke "Killas" dapat selamat. Killas adalah "panggung-panggung" atau gumuk-gumuk "dataran tinggi" buatan pemerintah Bangladesh yang khusus dibuat secara gotong royong selaku pengungsian pada saat banjir. Suatu rangkaian "Killas" didaerah banjir seperti yang dipercontohkan oleh Bangladesh, dapat kita pertimbangkan juga, bila jalan lain terlalu mahal atau tak mungkin. Killas-killas tersebut dapat ditanami pohon-pohon rindang selaku pelindung dan penguat tepi-tepi.

Hujan timbul dan turun, bilamana awan, yakni gumpalan-gumpalan asap air turun-suhu sampai lebih rendah daripada titik kenyangnya, dan begitu mencair menjadi air. *(lihat gambar nomor 3)*

Menurut penelitian *Dr. Van Bemmelen,* curah hujan di Jawa rata-rata maksimum terdapat di Krangan Banyumas (8305 mm) dan yang paling minimum di Asembagus Besuki (882 mm). Padang (4500 mm) sampai Meulaboh (4000 mm) boleh dikatakan hujan sepanjang tahun dengan lebat. Di Banda Aceh (1700 mm) dan Lho Seumawe (1500 mm) situasi lebih kering. Itu hanya sebagai gambaran, bahwa kita sulit memperkirakan di mana curah hujan yang paling banyak dan yang paling sedikit. Yang terkenal ialah, bahwa pulau-pulau Indonesia yang paling dekat dengan Australia paling sedikit mendapat hujan. Di Kupang hujan yang turun di dalam bulan Juli, Agustus, September tidak lebih dari di Waingapu (pantai utara Sumba) dan di Bali (Roti) dalam bulan Juli tidak turun hujan. (Lihat Pasal 3 tentang angin dan musim.) Dari penyelidikan selama 10 tahun (1956-1965) curah hujan di Jakarta rata-rata adalah:

maksimum di bulan Januari (452 mm)
minimum di bulan Oktober (59 mm)
sedangkan jumlah curah hujan setahun berjumlah 1787 mm.

b. *Hujan, kelembaban dan bangunan*

Hujan dan kelembaban sebagai akibatnya, mudah menjadi sebab kerusakan pada bangunan. Kita mengenal tiga macam perjalanan air hujan yang turun:

1) Air hujan yang mengalir langsung melalui talang, selokan, kanal, waduk, sungai sampai laut.

2) Air hujan yang masuk dulu ke dalam tanah dan baru melalui urat-urat di dalam tanah sampai di sungai dan seterusnya.

3) Sebagian air meresap di tanah, dihisap oleh tumbuhan-tumbuhan dan menguap lagi ke angkasa.

Dan masih ada air yang jatuh di tanah dan langsung menguap.

Sehubungan dengan itu tadi, kita mengenal beberapa macam kerusakan pokok pada bangunan yang disebabkan oleh hujan dan kelembaban.

2.2 **Akibat-akibat fisikalis**

a. Hujan dapat begitu hebat, sehingga hempasannya dapat langsung merusak unsur-unsur bangunan, atap, dinding dan sebagainya. Terutama bila hujan disertai angin kencang, halilintar dan sebagainya. Secara tidak langsung, sebagai akibat banjir, tanah longsor atau pohon-pohon besar menjatuhi bangunan.

Gambar no. 8

Bila bangunan kita kebetulan berdiri pada suatu bidang tanah yang menurun dan resapan dalam tanah yang mengalir dari lereng ke bawah semakin berhimpun karena oleh salah suatu sebab, air tersebut terbendung oleh dinding atau pun pondasi. Maka kumpulan air itu semakin merupakan semacam waduk di bawah permukaan tanah, sedangkan unsur-unsur bangunan rumah kita seolah-olah menjadi dinding waduk. Air akan menekan berat pada bangunan atau dapat melunakkan tanah alas, tempat rumah kita berdiri. *(gambar 8).*

b. Akibat fisikalis lain dari kelembaban baru menjadi soal gawat, bila kita membangun di daerah-daerah tinggi, misalnya di dataran tinggi Dieng dan sebagainya di mana sering timbul pembekuan air atau embun menjadi es di malam hari.

Pembekuan air menjadi es bisa sangat berbahaya untuk konstruksi rumah. Jika air atau embun atau kelembaban tersembunyi di dalam bahan bangunan atau di antara selah-selah unsur-unsur konstruksi, maka air yang menjadi es itu akan mengembang dan demikian mengakibatkan kerusakan-kerusakan hebat pada unsur-unsur bangunan.

c. Unsur bangunan yang basah, baik karena masih baru dibangun maupun karena kekeliruan konstruksi segera harus diatasi permasalahannya. Satu-satunya jalan demi perencanaan baik untuk bangunan-bangunan di tempat dingin seperti itu hanyalah: menghindari cara-cara berkonstruksi yang memungkinkan embun menyelinap di dalam bahan atau konstruksi bangunan.

Dari sebab itu sekali lagi kita harus menghindari penjiplakan begitu saja cara-cara berkonstruksi dari situasi asing ke dalam situasi setempat.

2.3 Akibat-akibat kimia

a. Akibat lain dari kelembaban bersifat kimia. Terutama di kota-kota hawa udara semakin kotor karena gas-gas pabrik, mesin dan sumber-sumber industri. Gas-gas dan kotoran-kotoran itu mengepul di udara, bercampur dengan awan atau kabut. Dan bersama air hujan menyirami bangunan-bangunan yang biasanya tidak terlindung terhadap siraman

kimia itu. Salah satu bahan berbahaya ialah *dioksida arang,* (CO_2) yang bersenyawa dengan air hujan serta membentuk asam-asam. Daya perusaknya tertuju pada bahan-bahan bangunan yang berunsur kapur asam karbon. Bahkan sering bahan batu silikat sekali pun kalah. Agresip sekali ialah juga belerang dan asam-asam garam.

b. Kelembaban udara menyusup ke mana-mana dan menyerang bahan-bahan besi dan baja. Terutama di daerah pantai, di mana hawa udara selalu mengandung kadar garam yang tinggi. Persenyawaan antara air, *asam-asam arang* dan *zat asam* dalam udara lembab adalal. penyebab dari gejala yang terkenal dengan nama karatan. Berkaratnya logam-logam disertai pengembangan sampai dua-pertiga bagian volume bahan. Jika misalnya baja terjepit di tengah bahan bangunan, maka pengembangan itu berakibat retak atau pecahnya bahan bangunan yang membungkusnya.

c. Perlu diperhatikan juga, bahwa meskipun air hujan masih tergolong lembek, artinya tidak keras tercampur *karbonat,* air itu tetap adalah unsur pelarut yang cukup besar. Juga tanpa tercampur oleh bahan-bahan kimia lain, air hujan merupakan musuh dari unsur-unsur beton, bila pembuatannya kurang betul.

d. Tidak boleh dilupakan juga adalah air yang menyusup dari bawah atau samping dari tanah yang naik dihisap oleh *tenaga kapiler* unsur-unsur bangunan.

Dari segi pertimbangan itu memanglah rumah-panggung rakyat Nusantara tradisionil sekali lagi merupakan jawaban sangat bagus, walaupun sudah dilupakan manfaatnya karena gelombang mode arsitektur Barat yang disalah-tafsir, membanjir masuk.

2.4 Akibat-akibat biologis

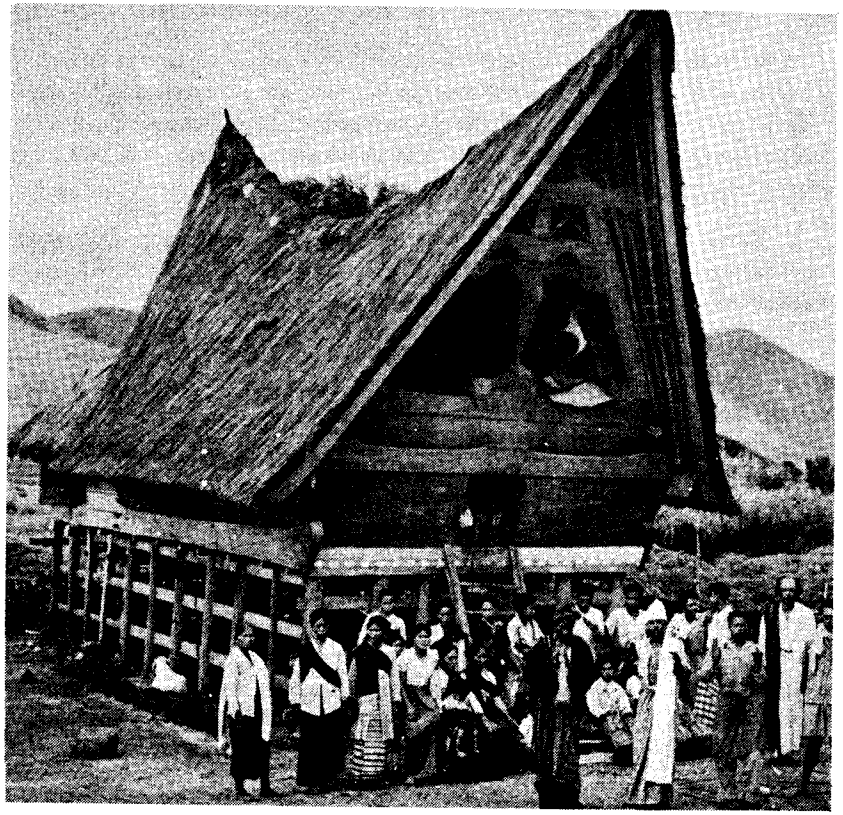
a. Akibat ketiga dari kelembaban ialah pengaruh biologis, berupa pembusukan bahan-bahan bangunan, terutama bahan kayu dan bahan-bahan organis lainnya. Jamur dan cendawan bertumbuh dan berbiak senang sekali pada apa pun yang lembab. Selain perusakan oleh akar-akar mereka yang memecahkan bangunan mirip dengan gejala es tadi, tumbuh-tumbuhan itu juga tidak tanpa akibat negatif merusak bahan dari dalam. Secara kimia-bio.

Cendawan sangat subur dalam suatu keadaan lembab namun hangat dan yang punya prosentase kelembaban (terhadap massa sama bahan kayu kering) yang melebihi 20%. Satu-satunya jalan membunuh dan menghindari pembusukan oleh jamur/cendawan tadi ialah pengeringan total

dari bangunan. Atau lebih baik, kering sekaligus panas. Maka salah satu keharusan berkonstruksi di daerah lembab ialah: mengatur, bagaimana sebanyak mungkin unsur bangunan selalu dilepas-bebaskan dari air dan sumber-sumber kebasahan lain. Ditambah dengan penghembusan udara yang selalu dapat menguapkan kelembaban pada unsur-unsur bangunan. (lihat selanjutnya Pasal 7)

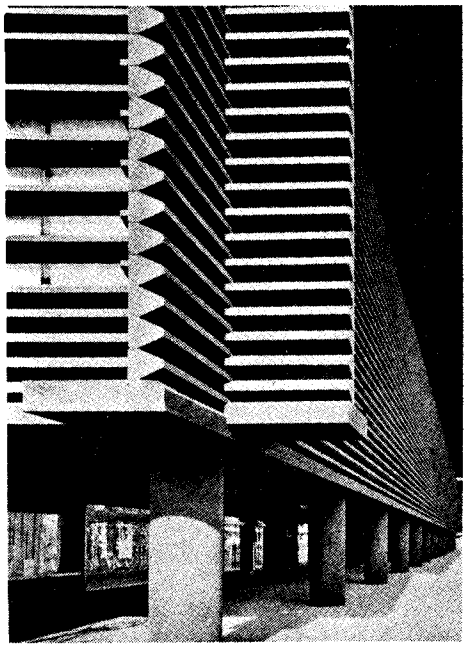
b. *Catatan Praktis*

Dari segala yang kita bicarakan di atas, kita harus mengakui, bahwa benar-benar pandai dan tepat sistim bangunan perumahan para nenek moyang kita dulu atau saudara-saudara kita yang masih hidup sederhana

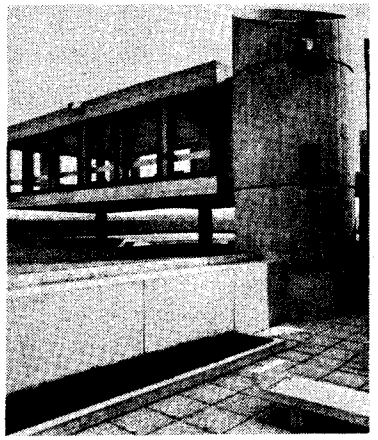


Gambar no. 9 Bentuk rumah panggung adalah jenis yang sangat umum dan tersebar dari Birma sampai dengan Hawai, dari Indonesia sampai dengan Jepang. Begitu juga bentuk atapnya.

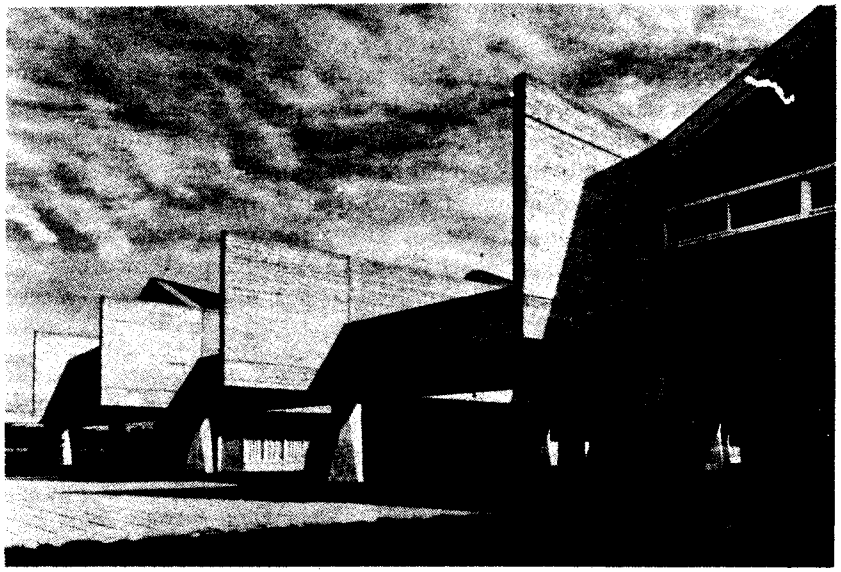
dalam hutan. Mereka (dan itu sangat merata dari Birma sampai kepulauan Hawaii) memilih cara *RUMAH PANGGUNG. (gambar 9)*. Lantai rumah dibuat tinggi di atas permukaan tanah. Demikian keamanan maupun kesehatan terhadap kelembaban dapat terjamin sangat baik. Sayang prinsip rumah panggung sebegitu bagus semakin dianggap kuno dan ditinggalkan, Padahal di banyak tempat di tanah air kita yang serba lembab ini, rumah panggung seumumnya merupakan penyelesaian yang paling bertanggung jawab. Dan sebenarnya kita tidak perlu malu membuat rumah model rumah panggung, sebab bila kita melihat perkembangan arsitektur paling mutakhir, rumah panggung adalah super modern. *(gambar 10–13)*.



Gambar no. 10 (kiri)
Teater Nasional di Ciyoda Tokyo (Arsitek: Hiroyuki Iwamoto) merupakan contoh, bagaimana ide nenek moyang yang kuno (namun tetap bernilai tinggi karena kewajarannya) bisa dimodernisasi dengan teknik beserta bahan-bahan bangunan serba moderen juga. Bentuk-bentuk dinding pun adalah versi baru dari cara konstruksi balok kayu bertumpuk dari arsitektur istana dan bait-bait pemujaan Jepang kuno/-tradisional.

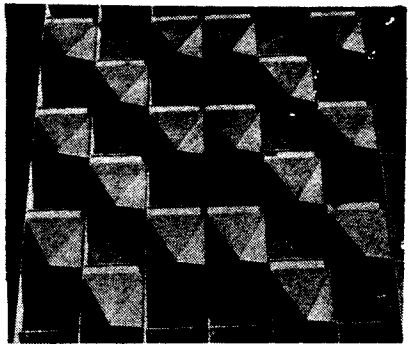


Gambar no. 11 (kanan)
Contoh rumah panggung moderen pada hanya 2 tiang.
Cita rasa: Orang terbang (merdeka) di atas bumi.

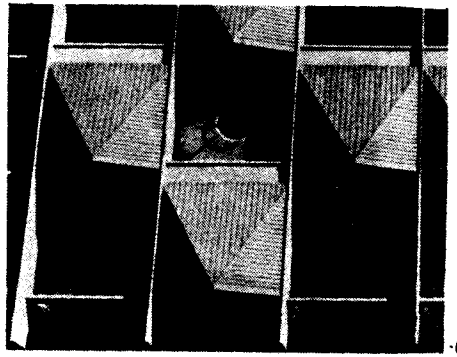


Gambar No.12a

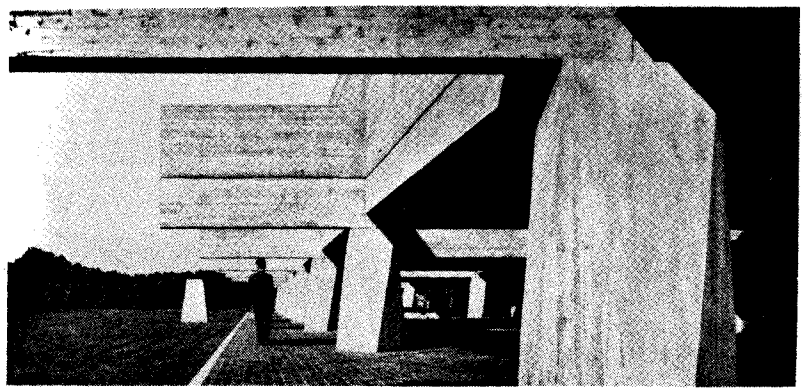
Kompleks Sekolah di Eropa Barat yang mengambil sistem RUMAH PANGGUNG. (rumah kolong) Halaman di bawah gedung sangat bagus untuk bermain-main atau grup diskusi.



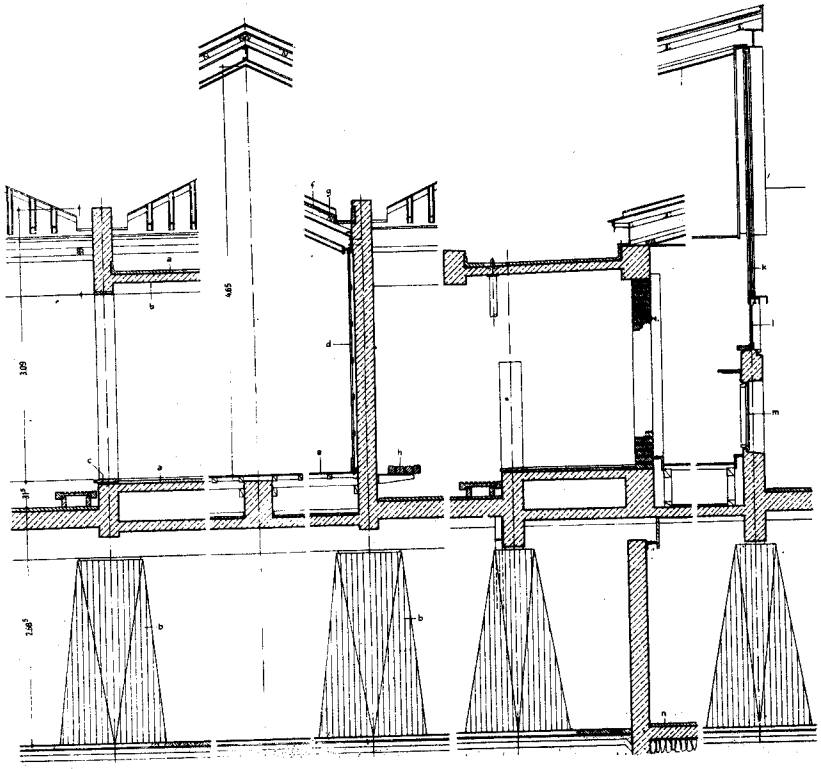
Gambar No. 12 b



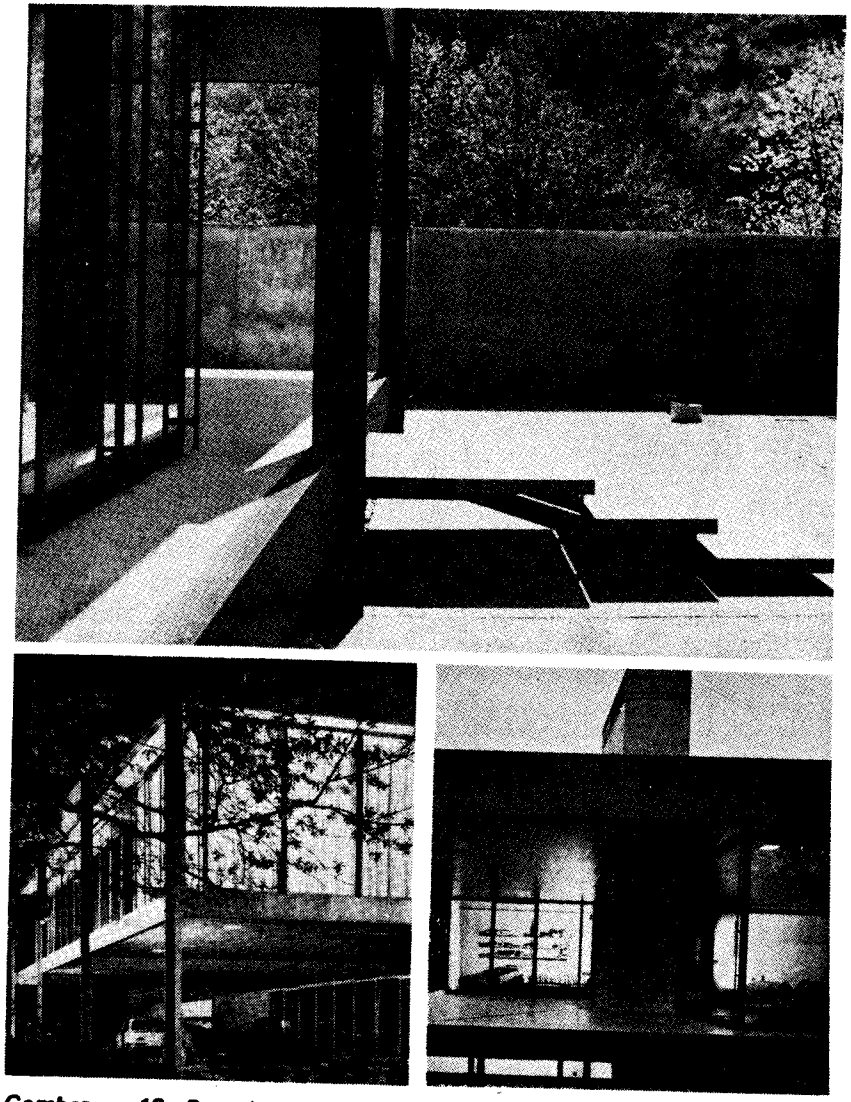
Gambar No. 12c



Gambar No. 12d



Gambar No. 12e



Gambar no. 13. Rumah panggung dengan beranda-beranda cukup masuk ke dalam dari Jerman. Suatu sistem yang sangat baik untuk daerah tropika. Hanya bahan baja yang dipakai di sini tidak tepat untuk iklim tropika lembab dan merugikan ekonomi nasional kita yang miskin baja. Seumumnya bahan baja untuk tanah air kita merugikan cadangan devisa nasional kita, karena hampir semua baja masih merupakan benda import. Padahal masih cukup tersedia bahan-bahan bangunan lain.

2.5 Penyusupan air hujan ke dalam dinding dan atap

Jalan biasa melalui lubang-lubang atau selah-selah, baik yang disebabkan oleh konstruksi (jendela misalnya) yang tidak rapat, maupun melalui keretakan dinding dan sebagainya. Perembesan ini didorong oleh daya-berat air itu sendiri yang selalu mencari jalan yang paling mudah ke bawah, atau oleh desakan angin yang mengepres air masuk ke dalam lubang-lubang dan selah-selah unsur bangunan. Terutama untuk daerah pantai dan gunung yang selalu dilanda angin cukup kencang dan searah, faktor angin bisa merupakan faktor besar.

2.6 Penyusupan kelembaban oleh daya-daya kapiler

a. Tetapi yang lebih harus kita perhatikan ialah perembesan yang dihisap oleh *daya kapiler* dari bahan-bahan bangunan yang berpori. Tanpa ada dorongan angin pun, air dihisap oleh bahan yang berpori. Dan kekuatan kapiler ini sangatlah tinggi bila lubang-lubang pori itu saling berhubungan kontinyu, seperti pada serat-serat kayu misalnya. Dari sebab itu bahan yang paling baik untuk bangunan ialah apabila pori-pori itu tidak bersambung tetapi merupakan rongga-rongga kecil yang berdiri sendiri tanpa hubungan dengan pori lain.

b. Perembesan maksimum terjadi pada saat pertama air hujan menghempas atau mengalir pada dinding, dan menurun terus sepanjang hujan. Sesudah hujan berhenti maka perembesan menjadi maksimum lagi bila hempasan hujan mulai lagi. Oleh karena itu "istirahat" dalam hempasan-hempasan air tidak sangat mempengaruhi perbedaan perembesan. Bila hujan menghempas terus-menerus tanpa berhenti, maka segera dinding kenyang dengan air dan datangnya hempasan baru menimbulkan kebasahan di sebelah dalam.

c. Bila dorongan angin berpadu dengan daya kapiler, maka tentulah perembesan segera mencapai tingkat yang buruk. Penghisapan kapiler mulai aktip pada retakan-retakan sebesar beberapa per seratus mm. sampai satu mm. Lebih lebar lagi, daya kapiler berkurang. Tetapi lalu bertambahlah hasil tiupan angin. Daya tiup angin mulai aktip mulai retakan sekitar 0,01 mm dan bertambah dengan semakin lebarnya retakan. Pada retakan sekitar 0,1 mm kekuatan kapiler dan angin-kencang saling berpadu. Pada lebar 0,5 mm ke atas, daya kapiler berkurang sangat sedikit bila dibanding dengan dorongan angin.

d. Pada atap, tenaga daya-berat air masih menambah hasil perembesan, walaupun tenaga angin dianggap nol. Tetapi pada atap miring daya-berat dan daya angin berpadu.

e. Dari keterangan di atas, maka bahan yang dipakai memang merupakan penentu utama pada masalah perembesan ini. Tetapi bahan yang sebaik apa pun akan bocor, bila pengerjaan tukang-tukangnya tidak teliti dan cermat.

2.7 Derajat kelembaban dan gejala kondensasi

a. Derajat kelembaban dalam suatu ruangan tergantung dari
Derajat kelembaban udara luar dan
Tujuan penggunaan ruang itu sendiri.

Ruangan dipakai untuk hal-hal yang membutuhkan udara kering atau sebaliknya membutuhkan udara lembab. Gudang buah-buahan, minuman bir, pembibitan cendawan misalnya membutuhkan ruang lembab. Seumumnya kita menghendaki ruang yang kering, tetapi jangan terlalu kering.

Kelembaban yang nyaman ada di sekitar 40-70% sedangkan suhu: antara 18°-25°C. Pencapaian kelembaban dan suhu yang nikmat sangat penting untuk mempertinggi daya dan kegembiraan kerja. Konstruksi yang menghalangi pencapaian derajad kenikmatan tersebut akhirnya akan minta tambahan alat-alat lain yang merupakan biaya permanen yang biasanya tinggi.

Dalam ruangan-ruangan khusus seperti dapur dan KM/WC kelembaban tentulah lebih tinggi. Bisa sampai 90% atau lebih. Dalam ruangan-ruangan besar, di mana banyak manusia saling berkumpul, kelembaban juga tambah karena penguapan dan pernafasan manusia.

Dalam ruangan-ruangan semacam itu sangat baiklah bila bahan-bahan bangunan bagian dalam mudah menyerap kelembaban, seperti plester gips, permadani dan bahan-bahan lain yang disebut mudah bernafas.
Di ruangan lain, dapur, KM/WC dan sebagainya sebaliknya sering dibutuhkan lapisan-lapisan dinding yang menolak uap dan kelembaban, seperti cat-cat minyak, tir, tegel-tegel porselin dan sebagainya.

b. Kelembaban dihitung dengan ukuran *kelembaban udara relatip*

$$\text{Kelembaban udara relatip (nisbi)} = \frac{\text{jumlah uap air yang ada}}{\text{jumlah uap air bila jenuh}} \cdot 100\%$$

Kejenuhan uap air tergantung dari suhu. Udara panas dapat lebih memuat kadar uap air dari pada udara dingin. Batas tertinggi muatan uap-air untuk suatu jumlah udara tertentu dengan suhu tertentu diukur dengan jumlah muatan kejenuhan dan menunjuk pada kadar kelembaban mutlak sejumlah udara (dihitung dengan g/m³).

c. Kelembaban udara relatip dapat dinyatakan juga dengan pengukuran tekanan uap. (dihitung dengan kesatuan Torr)

$$\text{Kelembaban udara relatip} = \frac{\text{Tekanan uap air yang ada}}{\text{Tekanan uap air yang jenuh}} \cdot 100\%$$

TABEL: Tekanan uap-air maksimal dan jumlah berat maksimal uap-air per 1 m³ udara pada suhu antara +5°C sampai +40°C dan pada kedudukan barometer 760 mm.

suhu °C	tekanan uap-air maksimal mm. air raksa	jumlah uap-air maksimal g/m³	suhu °C	tekanan uap-air maksimal mm. air raksa	jumlah uap-air maksimal g/m³	suhu °C	tekanan uap-air maksimal mm. air raksa	jumlah uap-air maksimal g/m³	suhu °C	tekanan uap-air maksimal mm. air raksa	jumlah uap-air maksimal g/m³
5	6,5	6,8	13	11,2	11,4	21	18,7	18,3	29	30,0	28,7
6	7,0	7,3	14	12,0	12,1	22	19,8	19,4	30	31,8	30,3
7	7,5	7,8	15	12,8	12,8	23	21,1	20,6	31	33,7	32,0
8	8,0	8,3	16	13,6	13,6	24	22,4	21,8	32	35,7	33,8
9	8,6	8,8	17	14,5	14,5	25	23,8	23,0	33	37,7	35,6
10	9,2	9,4	18	15,5	15,4	26	25,2	24,4	34	39,9	37,5
11	9,8	10.0	19	16,5	16,3	27	26,7	25,8	35	42,2	39,6
12	10,5	10,7	20	17,5	17,3	28	28,3	27,2	36	44,6	41,7
									37	47,1	43,9
									38	49,7	46,1
									39	52,4	48,5
									40	55,3	51,0

d. *Gejala kondensasi*

Pembasahan kedua yang harus ditanggulangi disebabkan oleh kelembaban udara yang mencair pada dinding (kondensasi). Udara mengandung uap air. Bila kadar kelembaban dalam udara bertambah, maka akan membesar pula tekanan air. Tetapi tekanan uap-air itu punya batas maksimum. Bila batas maksimum itu tercapai, maka disebut udara di situ sudah kenyang.

Bila kita mengabaikan unsur tekanan udara (yang kita anggap konstan) maka setiap derajad suhu punya maksimum tekanan uap air sendiri-sendiri dengan sekian gram air/m³ udara. (lihat Tabel). Biasanya udara mengandung uap air kurang dari pada kemampuan muatannya, dan itu dihitung dengan sekian prosen terhadap kemampuan maksimumnya.

Prosentase itu menunjukkan sesuatu yang disebut *kelembaban relatip*. (lihat tabel di 2.7c). Udara bersuhu 25°C misalnya dapat mengandung 23,0 g/m³. Pada hal yang ada hanya 16,1 g/m³. Jadi kelembaban relatip saat itu adalah 16,1/23,0 x 100% = 70%.

Sebaliknya bila kita tahu, bahwa kelembaban relatip pada suatu suhu misalnya tadi 25°c adalah 70%, maka jumlah uap air udara tersebut bisa

dihitung 0,70 x 23,0 g/m³. Maka tekanan asap 0,80 x 23,8 mm air raksa = 19,04 mm air raksa. Dari tabel halaman 37 ternyata bahwa tekanan 19,04 mm sesuai dengan suhu antara 21° dan 22°. Jadi, jika suhu uap tersebut oleh suatu keadaan mendingin menjadi 21° misalnya, maka udara menjadi jenuh uap air.

Demikianlah batas yang disebut batas *"titik embun"* terlampau. Maka, kelebihan uap air mencair, dan timbullah bintik-bintik embun air pada benda atau dinding. Hal itu setiap pagi dan sore terjadi kala fajar menyingsing atau senja malam.

Jadi: *Air kondensasi ("keringat", embun) terjadi apabila: pada bagian udara yang sudah jenuh masih ditambah lagi sejumlah uap air,* atau *bila suatu benda yang ada dalam bagian udara tersebut turun suhunya sampai di bawah suhu kritis kejenuhan uap air.*

(istilah "keringat" ternyata tidak tepat dan hanya merupakan istilah populer belaka).

Dari pengukuran ternyata:

bahwa pada suhu 20° dan kelembaban nisbi 100%, pemuatan uap air dapat maksimum 17,3 g/m³. Maka itu berarti: bahwa pemuatan pada

60%	17,3 . 0,6 = 10,4 g/m³	Bandingkan	60% = 12°C
70%	17,3 . 0,7 = 12,1 g/m³	dengan	70% = 14°C
80%	17,3 . 0,8 = 13,9 g/m³	harga-harga	80% = 17°C
		jumlah kejenuhan.	

Itu berarti, bahwa untuk ruangan-ruangan dalam dengan suhu 20°C dan kelembaban udara relatip = 60%, permukaan dalam dinding-dinding luarnya harus menunjukkan suhu 12°C. Jika kurang dari itu, timbullah embun kondensasi. Untuk = 70% itu berarti suhu minimum = 14°C dan untuk 80% = 17°C. Pada umumnya suhu di tanah ngarai bukan 20°C seperti di daerah pegunungan, melainkan sekitar 25-29°C.

Maka untuk suhu 25°C misalnya, pada tabel halaman 37 terdapat harga jumlah kejenuhan uap-air 23,0 g/m³.

Pada kelembaban relatip 80%, jumlah kejenuhan = 18,4 g/m³. Harga 18,4 g/m³ sejajar dengan suhu sekitar 21°C.

Jadi titik embun terdapat pada suhu 21°C tersebut.

Begitu juga:

Kelembaban relatip %	g/m³	titik-embun sekitar
70	16,1	19°
80	18,4	21°
90	20,7	23°

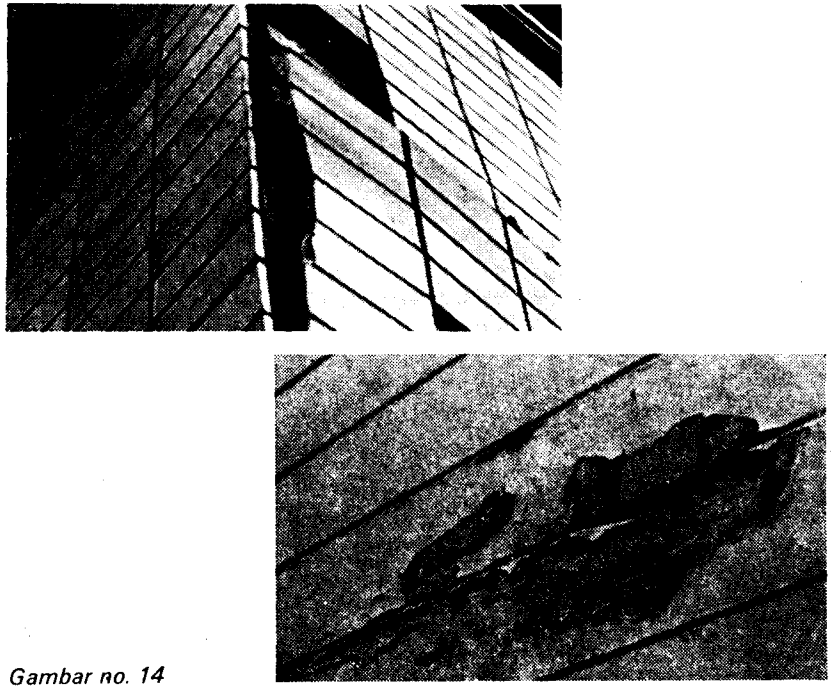
Dalam tabel biasanya kita ketahui dulu harga suhu dan kelembaban relatip. Lalu segera dapat kita baca: di mana letak titik embun pada suhu tertentu dan kelembaban relatip tertentu.

c. Penimbulan kondensasi ada dua macam:

1) di atas permukaan bahan

2) di dalam bahan yang berpori dan yang mudah mengandung air atau uap air.

1) Dalam kehidupan sehari-hari, kita selalu melihat pada pagi hari air kondensasi pada pelat-pelat seng atau aluminium, dan sebenarnya pada tiap benda yang relatip sangat mudah dan cepat turun suhu dibanding dengan udara kelilingnya. Sedangkan air kondensasi pada genting misalnya tidak mempengaruhi bahan, air kondensasi pada atap seng semakin lama menimbulkan karatan. Terutama bila penguapan terhalang oleh misalnya ruangan atap di atas langit-langit yang sangat rapat. Biasanya timbulnya air kondensasi dapat seimbang dengan penguapan. Tetapi sering penguapan air kondensasi sangat terhalang oleh suatu susunan konstruksi, sehingga setitik demi setitik air kondensasi dapat menjadi sangat banyak dan merusak. *(gambar 14).*

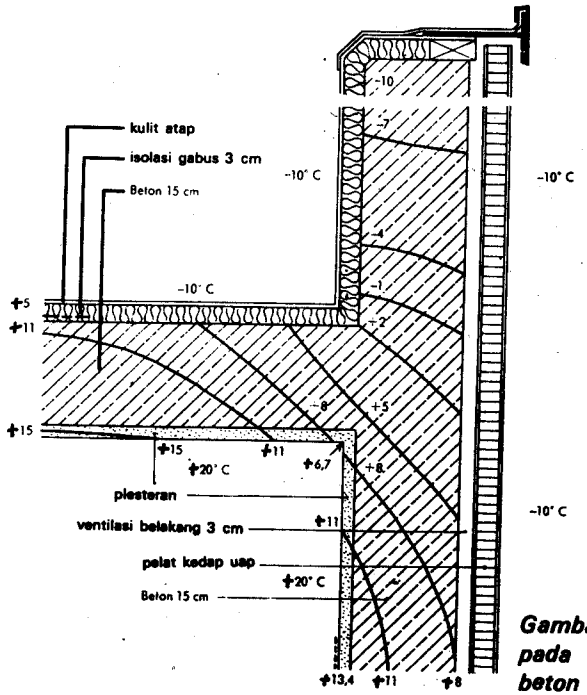


Gambar no. 14

Konstruksi-konstruksi yang mempergunakan seng, logam-logam lain atau bahan-bahan yang relatip mudah/cepat turun suhu dibanding dengan udara kelilingnya harus memperhatikan pengaruh-pengaruh akibat kondensasi air tersebut. Sebab, kondensasi di situ terjadi setiap pagi dan sore dan jika penguapan tidak lebih besar dari pengembunan, maka sedikit demi sedikit jumlah air kondensasi bisa sangat mengejutkan.

2) Selain waspada terhadap penimbulan kondensasi pada perusakan unsur bangunan, kita harus waspada juga terhadap kondensasi yang lebih merepotkan, yakni di dalam bahan-bahan yang sangat berpori. Dinding yang penuh pori pasti mengandung bagian-bagian udara di dalam rongga-rongga antara. Setiap sore dan pagi bagian-bagian udara itu berkondensasi terus-menerus. Jika dinding pada sisi dalam dicat dengan cat yang rapat sedangkan sisi luar tidak memberi kemungkinan banyak penguapan kelembaban di dalam dinding maka air kondensasi di dalam dinding segera akan mendesak cat dinding di dalam dan merusaknya.

f. Begitu juga kondensasi timbul pada permukaan beton atau dinding yang punya konstruksi dan kedudukan begitu rupa sehingga mendorong penurunan suhu yang tidak merata pada suatu tempat tertentu; dan yang mudah menjadi kenyang. *(gambar 15).*



Gambar no. 15 Keadaan suhu pada sudut konstruksi atap beton dengan tepi pagar.

g. *Pembekuan air hasil kondensasi menjadi es* bisa sangat berbahaya untuk konstruksi rumah. Jika air atau embun atau kelembaban tersembunyi di dalam bahan bangunan atau di antara selah-selah unsur-unsur konstruksi, maka air yang menjadi es itu akan mengembang dan demikian mengakibatkan kerusakan-kerusakan hebat pada unsur-unsur bangunan.

Seumumnya di daerah tropik lembab selalu harus diusahakan, agar unsur-unsur bangunan mudah dapat bernapas. Terutama bila itu ada hubungannya dengan unsur-unsur berbahan kayu atau lain yang tidak tahan air.

Bernapas artinya, bahwa air di permukaan maupun di rongga-rongga di dalam dapat keluar dan menguap. Pengeluaran itu sebagian besar disebabkan oleh tenaga-tenaga kapiler yang disertai penguapan. Namun dapat juga oleh tekanan angin yang mengepres air keluar pada salah satu sisi dinding.

Kondensasi di dalam bahan tidak selalu membahayakan. Sering kali air kondensasi dihisap secara kapiler searah sisi yang panas dan di sana menguap. Tetapi pada sisi panas tersebut kadar kelembaban bisa menjadi tinggi, sehingga menyebabkan kerusakan misalnya pada cat yang terlalu rapat air. Maka sering kita lihat cat-cat tembok pada dinding-dinding beton yang masih terlalu berpori segera rusak, meski masih baru.

h. Salah suatu cara yang sangat mudah, murah dan baik untuk mengatasi tembok-tembok tua yang tidak pernah bisa kering karena akibat kondensasi di dalam tembok yang terlalu berpori ialah: menanami bagian luar tembok itu dengan tanaman merangkak yang halus dan yang menghisap air dari tembok. Tanaman yang melekat itu sekaligus menutupi tembok-tembok yang tidak mungkin diperbaiki lagi konstruksinya atau yang sudah terlanjur warna-warnanya dirusak oleh kelembaban. Maka lapisan dedaunan estetis akan lebih menikmatkan pandangan. Tanaman yang dipilih tentunya bukan jenis yang akar-akarnya mengebor terlalu dalam sehingga merusak plesteran dan tembok.

2.8 Difusi

Transportasi air dalam bentuk uap melintasi lapisan-lapisan berpori disebut DIFUSI.

a. Pengangkutan itu ditentukan oleh pelbagai tekanan uap air, mirip pengangkutan kalor di bawah pengaruh perbedaan suhu. Molekul-molekul air dapat memakai bentuk kristal, zat cair atau amorf (gas). Disebabkan oleh perubahan-perubahan suhu atom-atom H dan O, maka molekul-molekul air tetangganya dapat terkena tembakan-tembakan energi yang mengubah keadaan kristal atau zat air menjadi gas (penguapan). Molekul-molekul gas itu bergerak cepat dalam jalan-jalan lurus

seperti tersendal-sendal. Semakin tinggi suhu, semakin cepat gerakan-gerakan itu. Panjang jalan bebas yang mereka lalui ikut dipengaruhi oleh kadar uap-air juga (jumlah molekul H_2O per-kesatuan volume). Secara normal panjang jalan itu hanya sebagian sangat kecil dari milimeter. Bila kadar molekul atau kecepatannya bertambah, maka timbullah perbedaan tekanan uap-air, yang tentulah selalu mencari kembali keseimbangannya. Dan itu menyebabkan gerakan molekul uap-air, atau disebut DIFUSI.

Karena molekul uap air hanya berjari-jari tengah 1/10 juta mm, maka molekul-molekul yang sedang bergerak itu mudah menerobos pori-pori kapiler bahan bangunan. Walaupun sebagian dari kapiler-kapiler itu tersumbat-sumbat dengan zat-zat air higroskopis, akan tetapi di sisi yang bertekanan rendah akan timbul penguapan baru sedangkan di sisi yang bertekanan tinggi timbul penambahan air kondensasi kapiler. Demikian transportasi atau difusi uap air selalu berjalan.

b. *Difusi* dihitung dengan

Jumlah uap air yang dipindahkan per satuan luas per satuan waktu.

Begitulah uap air yang terdapat dalam udara mengakibatkan tekanan, yang tergantung dari faktor suhu juga serta derajad kelembaban udara. Jika pada kedua sisi unsur bangunan terdapat tekanan yang berlainan, maka mengalirlah uap, menerobos unsur bangunan, dari sisi yang bertekanan lebih tinggi ke arah yang bertekanan kurang tinggi.

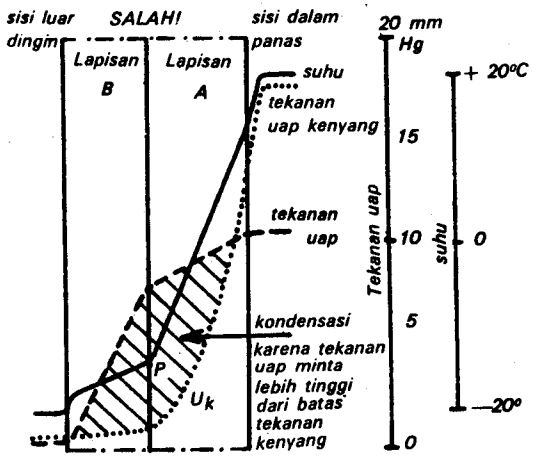
c. Berapa banyak yang dialirkan tergantung dari: perbedaan tekanan antara kedua sisi, dan *kemampuan mengalirkan uap air (angka difusi).*

Mudah dipahami, bahwa bahan dengan pori-pori besar lebih mudah mengalirkan uap dari pada yang berpori kecil. Campuran udara dan uap air dalam pori-pori itu mengikuti hukum-hukum fisik biasa, seperti dalam udara panas. Maka bila tekanan uap yang jenuh 100% dilampaui, maka di dalam pori-pori itu diembunkan cairan air.

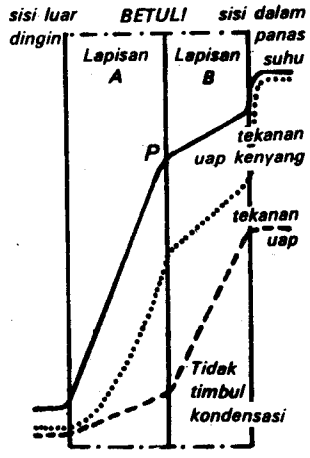
d. Gejala difusi uap air harus selalu diperhatikan, istimewa untuk ruangan-ruangan atau bangunan yang khusus harus dipanasi dan/atau didinginkan (dapur, tempat kerja-pabrik tertentu, ruangan-ruangan dengan Air-Conditioning dan sebagainya). Harus diteliti, apakah uap yang berdifusi itu kira-kira masih berbentuk uap ataukah karena akibat suhu dingin sudah berkondensasi (berkeringat).

e. Harus diperhatikan, apakah kondensasi timbul di permukaan sisi dingin, ataukah di dalam bahan itu sendiri, ataukah bahkan sudah datang pada permukaan sisi panas. Yang paling baik ialah, bila tercapai difusi yang teratur, tanpa pembentukan kondensasi. Adalah buruk, bila arus difusi tidak tetap dan terbentuk air kondensasi.

f. Dari sebab itu sangatlah penting kita mengetahui bagaimana susunan bahan unsur bangunan itu kita atur, jangan sampai difusi dihalang-halangi titik embun uap kenyang tercapai dan sehingga merusak unsur bangunan itu.



Gambar No.16a



Gambar No.16b

Perhatikan dua cara penyusunan lapisan-lapisan:
unsur bangunan, di *gambar 16* ini. Yang satu *(gambar 16a)* keliru dan yang lain *(gambar 16b)* benar. Keduanya memakai bahan-bahan penghantar baik dari kalor, jadi bersifat isolator panas yang jelek, (Misalnya, beton, tembaga, seng, aluminium, dan sebagainya, dan dilapis dengan penghantar panas yang jelek, misalnya soft board, kayu, plat akustik dan sebagainya), jadi isolasi panas yang baik. Dipakai juga bahan-bahan penghalang besar untuk difusi kelembaban (misalnya cat, bitumen tir/aspal, logam-logam, beton rapat air dan sebagainya).

Penghalang kecil untuk difusi adalah misalnya plesteran biasa, labur gamping, bahan tekstil dan sebagainya. Dengan pengetahuan sifat bahan-bahan itu mudah disusun dinding dengan pengaturan menurut susunan yang betul *(lihat gambar 16b).*

Lapisan	sifat-sifat lapisan dinding		
	penghalang kalor	angka difusi	penghalang difusi
	besar kecil		kecil besar

1) *gambar 16a* susunan yang salah.

Perhatikan salah satu tempat di dalam dinding. Misalnya tempat pertemuan antara lapisan A dan B.

Penghalang panas lapisan di sisi dalam besar (A). Maka panas di dalam ruangan sulit mengalir ke dalam dinding. Jadi di tempat P suhu relatip rendah.

Terhadap garis suhu tersebut garis tekanan uap kenyang menyesuaikan diri menurut lengkung U.

Penghalang difusi pada sisi dalam kecil. Maka uap dari ruangan mudah menyusup ke dalam dinding. Maka di titik P tekanan uap relatip masih tinggi, tidak sangat berbeda dari tekanan di dalam ruangan. Apa akibatnya? Di titik P tekanan uap jauh lebih tinggi dari pada yang diijinkan oleh tekanan uap kenyang yang sudah sesuai dengan suhu rendah di situ. Dengan kata lain, di titik P uap air melampaui kekenyangan dan mengembun. Embun di dalam bahan bangunan semacam ini semakin menghimpun dan semakin merusak.

2) Pada susunan yang betul di *gambar 16b* keadaan berlainan.

Di titik P tadi masih terdapat suhu yang cukup tinggi, karena isolasi panas di sisi dalam tidak besar. Garis tekanan uap kenyang juga menyesuaikan diri dengan garis suhu tersebut.

Lapisan sisi dalam adalah bahan penghalang difusi yang besar. Maka hanya sedikit uap dari ruangan yang menyusup sampai titik P. Artinya tekanan uap di titik P tidak terlalu tinggi, sehingga tidak melampaui batas tekanan uap kenyang yang berlaku untuk suhu di titik P tersebut. Demikian tidak terjadi embun di dalam unsur bangunan.

Catatan: Dalam contoh tersebut daerah suhu kita ambil secara ekstrim, antara +20°C dan −20°C, agar jelaslah persoalannya (situasi di iklim dingin). Dalam situasi normal, masalah tidak setajam itu, tetapi tetap ada kemungkinannya pada keadaan khusus, kamar pendingin daging misalnya.

2.9 Basah dari bawah

a. Pembasahan yang berbahaya datang juga dari bawah. Daya yang membasahi bukan pembasahan langsung seperti terjadi oleh hujan atau oleh udara yang mengembun dari bawah, tetapi dari daya kapiler pori-pori dinding yang menyedot air tanah ke atas. Betapa besar kekuatan penyedotan kapiler dapat kita lihat pada pohon-pohon raksasa di hutan yang sanggup menyedot air tanah sampai 30-40 meter di atas tanah.

Karena dinding dan bahan-bahan bangunan selalu berpori, maka tenaga kapiler hanya dapat dipatahkan bila bahan-bahan di atas tanah benar-benar diberi perisai rapat yang horisontal maupun vertikal,

sehingga alur-alur mikroskopis kecil dapat benar-benar tertutup dan tenaga kapiler tidak mendapat jalan ke atas.

Oleh karena itu, konstruksi-konstruksi pondasi, dinding-dinding dan segala unsur bangunan yang berhubungan dengan segala kelembaban tanah, baik yang langsung ataupun tidak langsung, harus diberi lapisan perisai atau isolasi. Perlu kita ketahui bahwa arus kelembaban kapiler selalu berjalan *dari bahan yang berpori besar ke arah bahan yang berpori kecil.* Tidak pernah terbalik.

b. Dari sebab itu perlulah diingat:

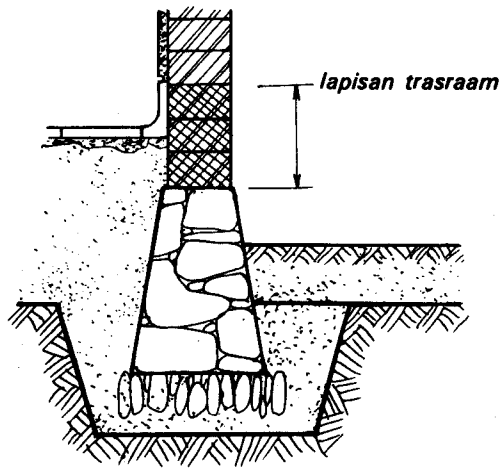
Di ruangan-ruangan, di mana diperlukan udara yang tidak lembab maka bahan-bahan dengan pori-pori besar diletakkan di bagian dalam dan yang berpori kecil di bagian luar. Sebaliknya bila memang dibutuhkan ruangan-ruangan yang cukup lembab (misalnya ruang pembibitan cendawan, penyimpanan bir dan sebagainya) susunan adalah sebaliknya.

c. Lapisan isolasi diletakkan pada tempat-tempat, di mana jalan kapiler ke atas adalah yang paling sempit (demi ekonomi jumlah isolator yang dibutuhkan).

Tetapi selalu di bawah niveau unsur-unsur yang sanggup menyerap kelembaban. *(gambar 17).*

d. Ada lapisan-lapisan isolasi dalam dinding bangunan-bangunan yang terkenal dengan nama umum *trasraam,* meskipun sebenarnya harus disebut raam semen PC, apabila bahan yang dipakai bukan campuran tras melainkan semen PC.

Banyak dinding yang menjadi basah, karena lapisan yang umum disebut trasraam itu dilupakan atau tidak kontinyu, sehingga bocor bagaikan garis pertahanan yang patah.



Gambar No. 17

2.10 Perlindungan terhadap kelembaban

Dari uraian yang lalu jelaslah, bahwa dinding atap dan unsur-unsur bangunan lain harus bisa melindungi kita terhadap kelembaban dan kebasahan. Keduanya merupakan dua pola dari satu perkara teknis yang harus diperhatikan.

Kita tadi sudah tahu bahwa kelembaban/kebasahan dapat datang:

Dari hujan (dari atas samping)

Dari kelembaban udara (dari pelbagai sisi)

Dari bawah (tanah atau air ngecembong).

Dari dalam: a. Kondensasi
b. Difusi.

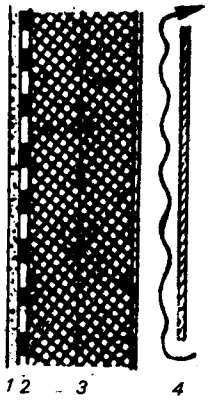
a. Kebasahan yang datang langsung dari hujan, dapat dilawan oleh suatu lapisan dinding yang memang berfungsi sebagai perisai air.

Yang paling menguntungkan ialah, jika dinding benar-benar terlindung terhadap air di sisi atas. Oleh karena itu overstek atau tritisan/gimbal di daerah tropik kaya hujan ini sangat berarti. Dinding-dinding pada gedung modern yang tak terlindung oleh atap akhirnya harus dilindungi juga terhadap air "terjun" yang mengalir deras dari atas dengan pertolongan lapisan khusus yang sebenarnya berfungsi sebagai semacam mantol atau atap yang berkedudukan vertikal.

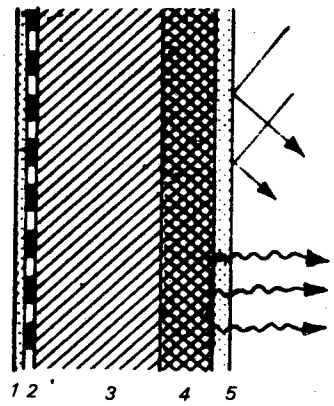
Itu bisa didapat dengan pelbagai konstruksi "baju dinding" dari sirap kayu, kulit aluminium, eternit, baja mulia tembaga dan sebagainya. *(lihat gambar 18)*. Atau secara sederhana dengan plesteran beton rapat air yang masih bisa dilapisi cat tahan air/jamur juga. Asal ada kemungkinan, dinding di belakang lapisan kedap air masih bisa bernafas. Sebab, di daerah kita yang serba lembab ini segala dinding yang berpori dan tidak licin, seperti misalnya aluminium atau porselin, pasti dijadikan tempat tumbuh jamur dan tumbuh-tumbuhan mikroskopis.

b. Suatu dinding batu bata setengah batu yang terkena oleh hujan terus menerus sudah akan basah semua di bagian dalam sesudah 3,5 jam. Demikian pun sisi dalam dari dinding bata satu batu sudah basah sesudah 11 jam terkena hujan. Oleh karena itu atap rumah harus menjulang cukup keluar untuk melindungi dinding terhadap air hujan dari arah atas dan samping. Dan kalau pun kita terpaksa memberi baju isolasi pada dinding, maka yang penting ialah, agar di antara dinding yang dilindungi baju yang dikenakan, harus tetap ada lapisan atau selah cukup bebas untuk ventilasi dan pernafasan baik dari dinding yang dilindungi *(lihat gambar 19)* maupun baju itu sendiri. *(gambar 18, 19, 20, 21)*.

SUSUNAN DINDING BERLAPIS SECARA BETUL

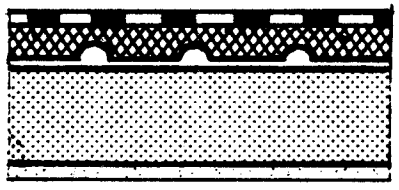


Gambar No.18

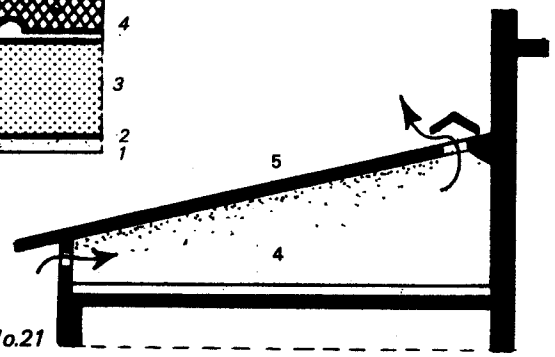


Gambar no. 19

1. Plesteran, penampung kelembaban dari dalam
2. Lapisan kedap air
3. Dinding konstruktip
4. lapisan yang memungkinkan kelembaban dari luar atau air kondensasi dapat menguap/bernapas (gambar no.19) Atau pada gambar no. 18 dan 21: hawa udara.
5. Plesteran yang memungkinkan pernapasan (gambar no. 19) Atau pada gambar no 18 dan 20 lapisan "perisai" atau "baju" dinding.

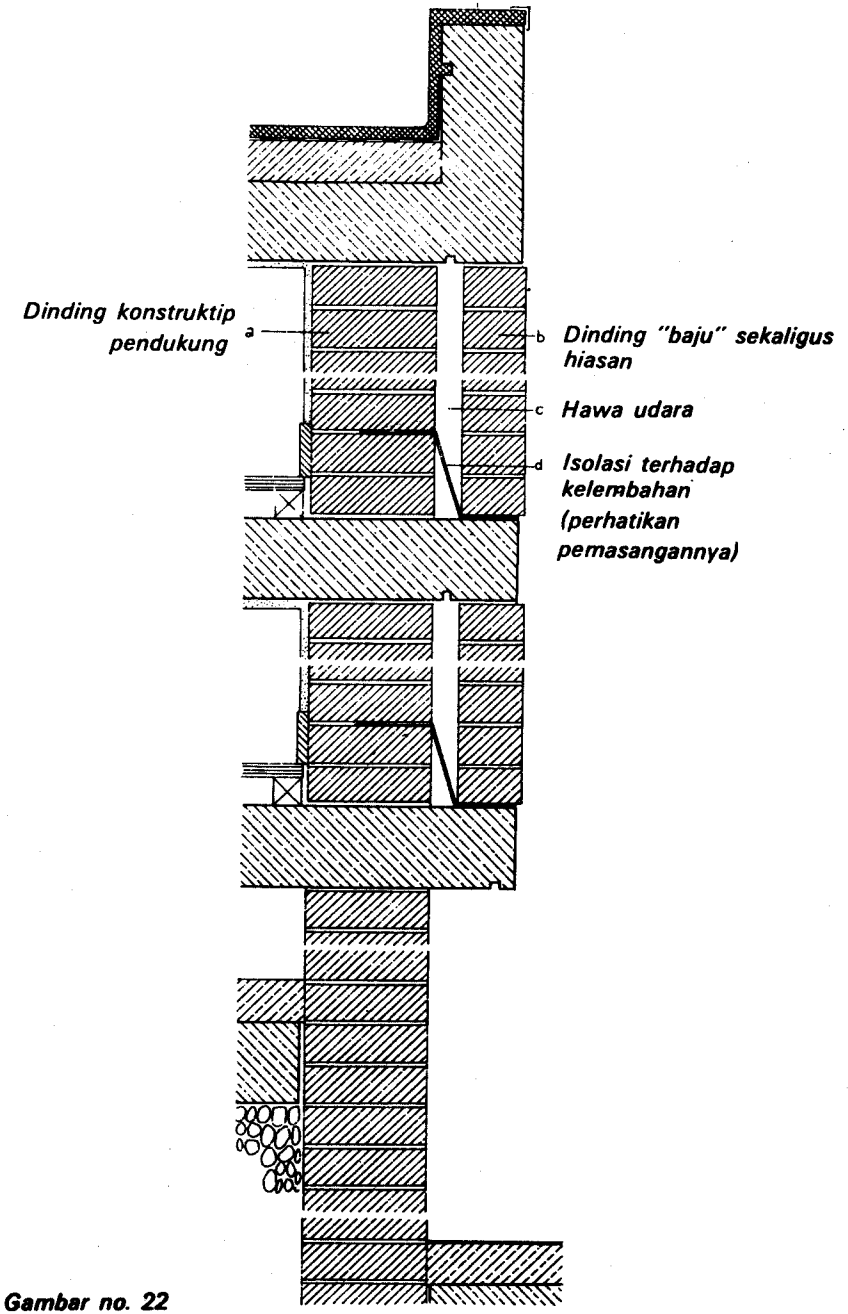


Gambar No.20



Gambar No.21

c. Dari sebab itu di negara-negara iklim sedang sering didirikan dinding dobel yang tidak saling menghimpit. *(lihat gambar no. 22)*. Dinding luar melulu berfungsi sebagai pelindung kebasahan dan sekaligus isolasi panas/dingin. Tetapi di daerah tropik cara itu tidak dianjurkan, mengingat mudahnya ruang rongga itu dipakai sebagai sarang binatang-binatang yang tidak dikehendaki.



Gambar no. 22

2.11 Beberapa catatan praktis tentang dinding luar bangunan

Dari segi sifat-ciri dinding atau lebih umum, unsur pembatas luar dari ruangan terhadap kelembaban, kita dapat menggolongkan dinding (terutama dinding batu) dalam empat jenis.

a. *Dinding masip yang dapat bernafas*

Dalam jenis ini termasuk dinding dari bahan-bahan yang berpori dan dapat memuat air atau uap-air. Bila dicucuri hujan dinding jenis ini dapat menyerap jumlah air cukup banyak. Begitu juga bila di bagian dalam timbul kondensasi. Penguapan air biasanya terjadi pada sisi-luar. Tetapi bila suhu ruang-dalam sangat turun, maka penguapan terjadi di sisi dalam juga. Pada dinding ini harus selalu diusahakan, agar penguapan didorong ke sisi luar. Dengan kata lain: *derajad porisitas harus lebih besar di pihak luar dari pada di dalam (tetapi kehalusan pori harus lebih lembut di sisi luar daripada di dalam).*

Tetapi pertimbangan lain ialah, bahwa dengan adanya pori yang lebih banyak di sisi luar, maka perembesan yang didorong oleh tekanan angin semakin menjadi. Dari sebab itu, jenis bahan dinding ini kurang menguntungkan untuk daerah-daerah dengan hempasan hujan dan angin yang kuat. Pertolongan efisien dapat dicapai dengan penggunaan "baju-dinding" seperti tersebut dalam Pasal 2.10

Namun untuk daerah-daerah dingin seperti di plato Dieng dan sebagainya yang kerap sekali mengenal suhu di bawah nol derajad C. dinding yang banyak berpori segera akan pecah, disebabkan pengembangan air yang menjadi es di dalam batu. Maka mudahlah dimengerti, mengapa seumumnya dinding-dinding jenis ini (batu bata, batu beton-ringan, bataco dan sebagainya) sebaiknya diberi lapisan plester yang tepat derajad lubang pori-porinya.

b. *Dinding berongga*

Jenis dinding ini pada prinsipnya merupakan dua lapisan dinding dengan bantalan udara di antaranya. Dalam bentuknya yang kuno ini terbuat dari dua dinding batu batu bata biasa dengan jarak antara *(gambar 22)*. Dalam bentuk model sekarang, bagian-bagian batu itulah yang berongga atau berbentuk kotak tanpa dasar tanpa tutup. Begitu maka dimungkinkan lapisan dinding yang tidak besar porinya bahkan dapat kedap air juga di bagian luar, sehingga perembesan oleh faktor angin sangat dikurangi. Selain itu penguapan air dari dalam dinding dapat disalurkan melalui ruangan udara di tengah dengan batu-batu bata yang berongga di dalamnya. Tetapi selalu harus diingat, bahwa pemakaian "hollow brick" sejenis ini minta satu syarat mutlak: yakni bahwa arus uap air selalu harus dimungkinkan. Artinya, di bagian bawah dan di bagian atas dinding harus

cukup ada lubang untuk menyebabkan efek "cerobong" sehingga arus lancar. Pemakaian batu-batu berongga dengan serba tertutup pada pihak bawah dan di atas adalah percuma saja dari segi penguapan air dalam batu. Jadi di dalam rongga dinding harus dijamin arus ventilasi.

Begitu juga harus ada kemungkinan bagi air yang mencair (berkat kondensasi di dalam) untuk mengalir ke bawah dan pergi. Bila tidak, maka dalam jangka waktu pendek, rongga-rongga di dalam dinding lalu penuh dengan air yang tak dapat keluar.

Karena ventilasi sudah dimungkinkan di dalam rongga dinding maka permukaan luar bisa dibuat kedap-air, misalnya dengan pengecatan cat dinding rapat dan sebagainya. Asal syarat di atas dipenuhi.

Dari segi isolasi panas akan menguntungkan, bila lapisan di sisi dalam dibuat lebih tebal dari lapisan sisi-luar. Di sini sisi-luar sebenarnya hanya berfungsi sebagai "baju-dinding" belaka.

Usaha untuk mengisi rongga dengan bahan-bahan isolasi panas sebenarnya di sini tidak banyak berguna, terutama bila yang dipakai ialah "hollow bricks" tadi, karena adanya jembatan-dingin antara kedua lapisan akan meniadakan efek isolator. Jauh lebih buruk lagi ialah, bila yang dipakai sebagai isolator di rongga terbuat dari bahan yang menghisap air (serabut kelapa dan sebagainya). Hanya bahan sintetis (misalnya polystyrene yang mengembang serba bergelembung) yang bisa dipakai di sini. Tetapi untuk daerah kita seumumnya hal itu kurang bermanfaat, lagi mahal.

c. *Dinding kedap air*

Dinding kedap air dapat terbuat dari bahan kedap-air seluruhnya (beton keras, porselin dan sebagainya) tetapi juga diperoleh karena satu atau dua sisi permukaannya dilapisi dengan cat atau lapisan tipis yang benar-benar kedap air.

Bila lapisan kedap air ini diselaputkan pada permukaan luar, maka tidaklah mungkin untuk menghindari kondensasi di permukaan dalam, sedangkan penguapan ke ruang dalam hanya mungkin bila tekanan uap air di ruangan lebih rendah daripada tekanan uap air di dalam dinding.

Apabila di permukaan luar terjadi keretakan (hampir selalu) maka sedikit demi sedikit air dari luar mengalir ke dalam, tanpa bisa menguap lagi keluar.

Demikian maka jumlah air di dalam dinding semakin banyak terhimpun.

Bila di ruang dalam (misalnya ruang pertemuan penuh manusia misalnya atau kamar mandi) tekanan uap air selalu tinggi, maka segera dinding kenyang dengan air.

Dari pihak lain, apabila lapisan kedap air ada di permukaan ruang dalam, pada hal kondensasi terjadi di sisi dalam, maka jelaslah, bahwa air hasil kondensasi tidak bisa masuk ke dalam dinding, dan meneteslah ia seperti keringat (misalnya dinding dengan tegel-tegel porselin atau yang bercat kedap air). Oleh karena itu, ada baiknya, bahwa di bagian luar dari lapisan kedap air tersebut orang membuat plesteran yang cukup berpori dan yang sementara dapat menampung kebasahan kondensasi tersebut. *(gambar 19)*. Dalam keadaan normal, maka air kondensasi yang terkumpul dalam plesteran berpori ini akan menguap lagi pada waktu ruangan turun tekanan kelembabannya (bila ruangan sudah ditinggalkan oleh manusia yang berapat tadi).

Bahan yang terbagus tentulah bila dibuat begitu rupa sehingga keseimbangan antara kerapatan bahan dan daya penyerapan air kondensasi tersebut dapat tepat terjaga.

d. *Dinding yang dicat/dilapisi selaput kedap air (waterproof coating)*

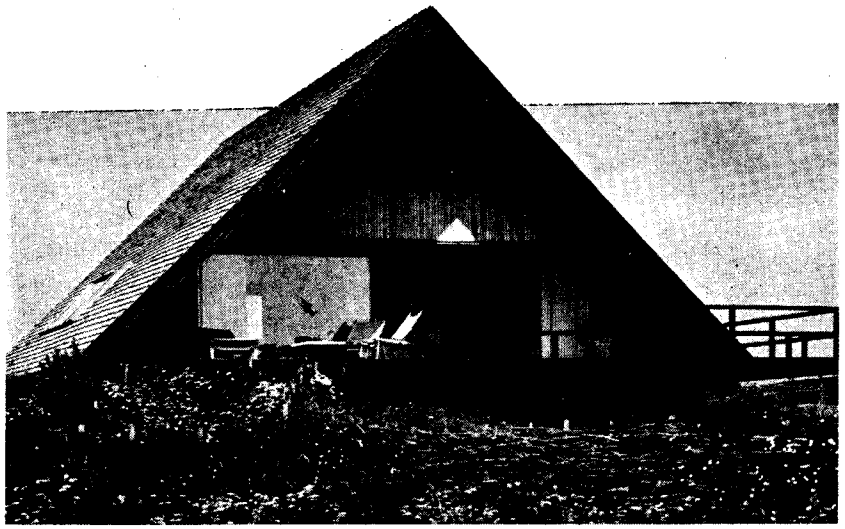
Untuk keperluan-keperluan tertentu, bahan dinding yang terlalu berpori dapat diberi selaput berupa cat atau lapisan tipis yang benar-benar kedap air.

Bahan dapat bermacam-macam, lilin (parafin, semen PC dengan campuran tertentu, atau bahan silikon). Hasil pelapisan itu dapat bermacam-macam, walaupun bahan yang dipakai adalah sama. Itu tergantung dari banyak unsur dan faktor ruangan atau situasi. Dari pengalaman ternyata, bahwa bahan-bahan silikon lebih berhasil dari campuran semen, parafin dan sebagainya. Akan tetapi (selain tidak murah) bahan silikon cukup keras dan karenanya mudah retak. Dan sekali retak, maka jalan keluar atau masuk untuk air ada lagi. Oleh karena itu seumumnya pelapisan dengan bahan-bahan yang cukup keras (walaupun sangat efisien dalam soal kedap air) membutuhkan penggarapan tukang yang bermutu tinggi. Bahan yang lebih elastis (misalnya tir atau aspal) sering lebih berhasil. Sejak jaman dulu, bahan tir sebenarnya bahan cukup baik dan murah, walaupun orang tidak begitu senang, karena kurang indah. Tetapi sekarang sudah ada bahan tir (disebut Flint-coat) yang berwarna putih atau biru muda. Tetapi tetap penggarapan dengan flint-coat membutuhkan kecermatan yang sangat teliti.

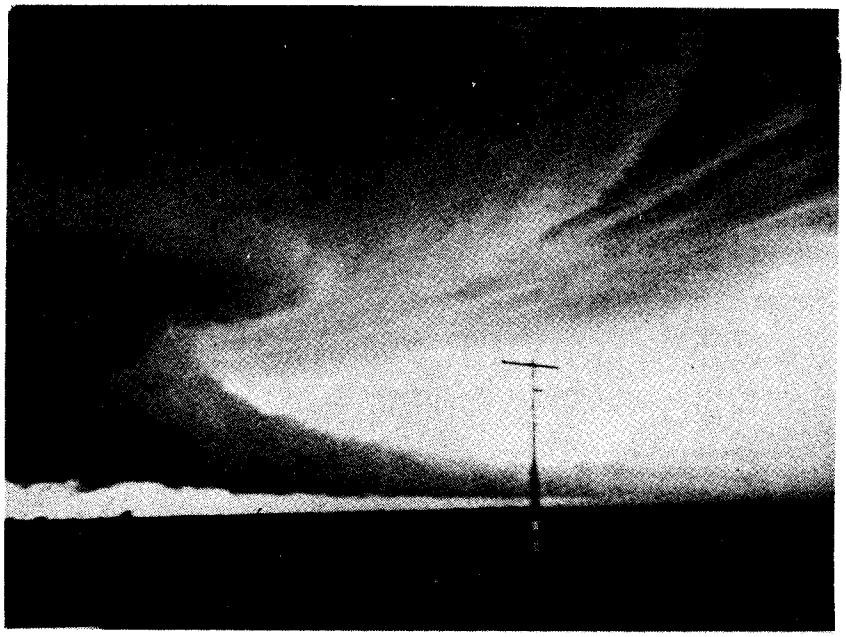
e. *Penutupan sambungan-sambungan unsur*

Tidaklah memerlukan banyak penjelasan, bahwa dalam penggarapan unsur-unsur bagian bangunan, seperti jendela, pintu dan sebagainya, ketelitian sangat menentukan kerapatan air. Sambungan-sambungan dan tempat-tempat perpaduan unsur dengan unsur perlu ditutup (selain dalam hal daun-daun pintu/jendela yang mengharuskan suatu jarak minim

toleransi). Sering kita harus tetap memberi jarak antara unsur dengan unsur, mengingat masalah pengembangan dan pengeriputan bahan yang terkena panas. Di situ perlu ditutup dengan bahan yang elastis (misalnya bahan plastik neoprene) *lihat gambar 22*. Soal penutupan selah-selah semacam ini memang merupakan perkara yang tidak mudah, karena bahan-bahan yang diimpor dari luar negeri belum tentu dapat bertahan melawan panas tropika. Dari sebab itu nasehat ahli dalam hal ini sangat diperlukan.



Dialam tropika kaya hujan, bila anda ingin moderen pun, ikutilah kebijaksanaan nenek-moyang kita, yang selalu membangun atap rapat yang menjulang jauh kemuka. Indah sekaligus fungsional.



Gambar No.23a

3. PENGARUH ANGIN

3.0 **Umum:**

Antara curah hujan dan seluk beluk angin, terlebih di kawasan Nusantara yang berupa arkipel, ada hubungan sebab-musabab yang sangat erat. Yang disebut angin pada dasarnya ialah: hawa udara yang bergerak *(gambar 23 a, b)*. Gerak itu disebabkan karena bagian-bagian udara didorong dari daerah bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan rendah. Dan karena biasanya tempat yang dingin relatip lebih bertekanan tinggi dari pada yang panas, maka arus angin biasanya mengikuti dorongan mengalir dari yang dingin ke arah yang relatip lebih panas.

Gerak angin tersebut ada yang bersifat makro, yakni yang mempunyai deaerah sebab-musabab antar benua atau antar samudera, jadi berkawasan gerak yang sangat luas. Lainnya adalah mikro atau lebih baik disebut angin-angin lokal.

Gambar No.23b

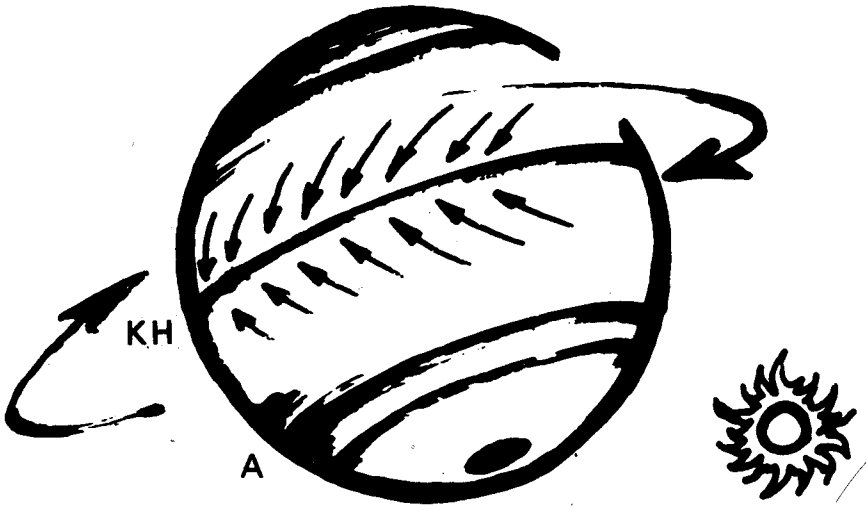
3.1 Angin antar benua dan samudera

Angin antar benua/samudera adalah penyebab utama adanya siklus musim kemarau dan musim hujan di daerah-daerah kita. Sebab-musabab angin yang bergerak dalam daerah gerak seluas Australia-Siberia, Pasifik-jasirah Arab adalah sangat kompleks.

Tetapi ada dua sebab penting yang bisa kita catat:

a. Kecenderungan udara untuk mengalir dari tempat bertekanan tinggi ke arah yang bertekanan rendah. Itu sejajar dengan kecenderungan arus dari yang bersuhu rendah ke yang bersuhu tinggi.

b. Kecenderungan angin-angin dari daerah-daerah lintang utara untuk berserong ke kanan (ke sisi barat) bila mengalir ke khatulistiwa. Dan sebaliknya angin dari daerah-daerah lintang selatan cenderung serong ke kiri (ke sisi barat) bila mengalir ke arah khatulistiwa.



Gambar no. 24. Lingkaran khatulistiwa (KH) lebih besar daripada lingkaran A. Tetapi keduanya berputar dengan kecepatan perputaran yang sama. Artinya: udara di sekitar KH menjalani jarak liniar-busur lebih cepat daripada hawa udara di sekitar A. Oleh karena itu, apabila bagian bagian udara berjalan dari daerah A ke KH, mereka akan "ketinggalan" terhadap perjalanan bagian bagian udara di KH. Dengan kata lain, mereka cenderung untuk bergeser ke barat, sebab arah perputaran bumi mengarah ke timur.

c. Tetapi selain dua sebab utama itu masih ada pengaruh-pengaruh banyak lain yang menentukan jalan angin antar benua itu dan yang ikut mempengaruhi pergantian musim serta sifat musim di sini.

3.2 Angin musim di Nusantara

a. *Selisih tekanan antar benua*

Keadaan pada bulan Januari
(Perhatikan *gambar 25 a)*

Suhu di Siberia sangat rendah	:	– 48°C (musim dingin).
Suhu di Australia tinggi	:	32°C (musim panas).
Tekanan udara di Asia (Tibet)	:	780 mm.
Tekanan di Australia	:	752 mm.
Selisih	:	28 mm.

Situasi bulan Juli (lihat gambar 25b).

Suhu di dataran Asia Tinggi	:	32°C (musim panas).
Suhu di Australia cukup rendah	:	18°C (musim dingin).
Tekanan udara di Australia	:	764 mm
Tekanan di Asia sangat rendah (India)	:	748 mm
Selisih	:	16 mm

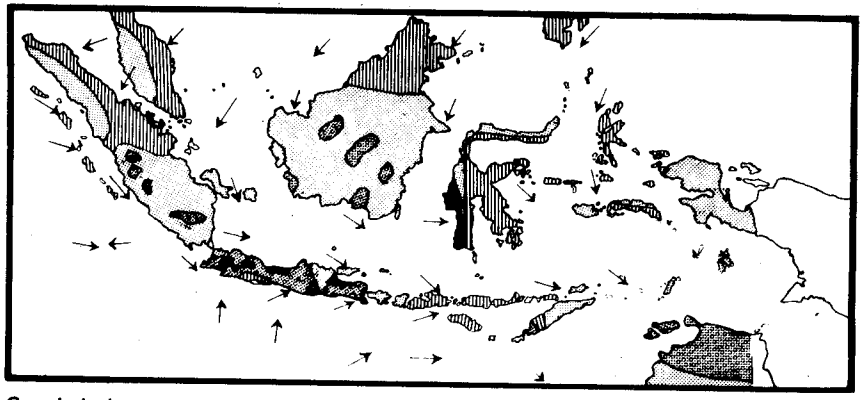
Jelaslah di bulan Januari, angin akan meniup dari Asia ke Australia dan bulan Juli terbalik, dari Australia ke Asia.

Selisih tekanan 28 mm, di bulan Januari bahkan hanya 16 mm. Di bulan Juli selisih sebenarnya sangat kecil, tetapi arus melintasi jarak jauh, sepanjang 60° garis lintang bumi. Jadi biarpun hanya bertenaga kecil, tetapi bekerja terus-menerus dan dalam perjalanan jauh. Jadi akumulatip, akhirnya menjadi sangat kuat dan bertahan terus, menurut pola dasar yang tegas.

b. *Gerak udara dan gilir berganti musim*

Perhatikan situasi dalam bulan Januari ini: *(gambar 25a)*

Perhembusan angin dari Birma, Thailand, Vietnam, Malaysia, terhisap oleh Australia. Arah ke barat daya, karena akibat perputaran bumi (terserong ke kanan, ke sisi barat). *Jadi Angin Timur Laut* (dari arah timur laut). Berhembus juga angin dari laut Arab, India, teluk Benggali. Juga terhisap oleh Australia. Juga terserong ke kanan menjadi angin timur laut, oleh perputaran bumi.



Gambar No. 25a: Peta angin dan hujan bulan Pebruari dari J.H. Houbolt "Iklim di Indonesia" Bandung 1954.

Kedua angin itu saling memperkuat sehingga menjadi angin pasat (angin yang terpengaruh oleh perputaran bumi) yang sangat kuat.

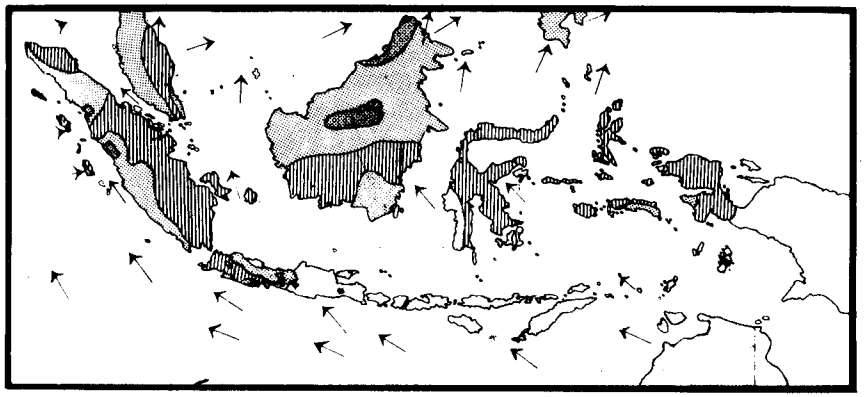
Tetapi angin dari laut Arab, India, Teluk Benggali sampai ke khatulistiwa makin melemah. Di daerah khatulistiwa angin selalu cenderung naik ke atas dan daya ke atas itulah yang melemahkan arah horisontal dari angin laut Arab, India dan Teluk Benggali tadi. Akhirnya (masih terpengaruh hisapan Australia) ia semakin membelok ke arah timur. Artinya menjadi Angin Barat.

Kedua angin itulah: Angin Barat angin Utara (Timur Laut) yang berhembus kuat. Jalan yang ditempuhnya sangat panjang dan melalui perairan. Maka penuh dengan uap air. Australia sedang panas. Jadi sambil menghisap, benua itu juga mendorong angin ke atas, sehingga di manamana udara cenderung naik ke atas yang menyebabkan hujan (pendinginan yang melampaui titik kenyang uap).

c. *Akibat pada kepulauan Nusantara*

Daerah selatan Sumatra, Selat Sunda dan Pulau Jawa dihembus angin Barat (terutama dari Laut Arab dan sebagainya tadi).

Di Sumatra Selatan, di laut Jawa dan di laut Tiongkok angin mengikuti



Gambar No. 25b: Peta angin dan hujan bulan Agustus.

sistim yang jelas, dan berhembus sangat kuat. Di Selat Sunda dan di laut Banda arus itu masih terasa. Di kepulauan Indonesia kecuali Sumatra sistim angin pada bulan Januari terasa sebagai musim angin barat.

Sistim angin di pantai Sumatra Barat, tidak jelas dan tidak kuat. Ujung utara Sumatra mengalami angin berlawanan. Bukan angin Barat, melainkan angin Timur Laut. Oleh karena itu pelayaran musim hujan di perairan di Sumatra Utara (Aceh) tidak seburuk situasi di Laut Jawa dan lautan Nusantara lain.

Situasi pada bulan Juli (gambar 25b)

Berhembus angin dari Australia, terhisap oleh benua Asia.

Pada lintang selatan 10° berhembus angin pasat Tenggara menuju ke barat laut, melalui Samudera Indonesia dan Laut Banda. Tetapi berhembus juga angin yang kuat dari laut Arab, Teluk Benggali ke Asia yang bertekanan rendah, angin barat daya. Angin Barat Daya itu tubrukan dengan angin Tenggara dari Australia. Tempat tubrukan itu justru di seluruh pantai barat Sumatra. Angin Tenggara dari Australia sebagian membubung ke atas di khatulistiwa dan demikian menjadi lemah. Angin Barat Daya dari laut Arab lebih kuat dan akhirnya angin Tenggara itu menghilang.

Akibat bagi kepulauan Nusantara

Angin Tenggara datang dari Australia yang sedang dingin dan walaupun angin ini melalui lautan juga, ia adalah angin dingin dari padang pasir dingin yang menuju ke arah panas. Menjadi lebih panas berarti menjadi lebih kering karena udara yang menjadi lebih panas sebetulnya masih bisa memuat uap air lebih banyak lagi dari pada ketika ia masih dalam keadaan dingin.

Kekeringan itu sangat terasa terutama di Nusa Tenggara. Di Jawa, terutama di Jawa Timur dan pantai Selatan, kekeringan itu terasa juga. Sumatra adalah daerah peralihan arah angin Tenggara dan angin Barat daya. Sampai 1000 KM dari pantai di laut, angin berhembus tidak tetap, bahkan seolah-olah hanya berpusing-pusing saja. Juga keadaan serba bingung di Sumatra pantai barat menghalang-halangi suatu arah tegas dari angin.

Akibatnya: dari pantai Padang sampai Meulaboh hujan tetap turun sepanjang tahun dengan lebatnya. (dari angin Barat Daya). Akan tetapi di Banda Aceh dan Lho Seumawe hujan sedikit saja.

d. Sebagai gambaran di sini diperlihatkan angka-angka untuk Jakarta, Ujungpandang.

Kota:	Jakarta	Ujungpandang
rata-rata setahun dari periode 1928-1941		
lembab nisbi	82%	80%
rata-rata maksimum sehari	94%	91%
minimum	64%	63%
banyaknya hujan setahun	1.793 mm	2.577 mm
jumlah hari hujan	135,3	118,0
kecepatan angin	1,1 m/sek	1,4 m/sek
suhu tahunan rata-rata	26,2	26,2
suhu maksimum sehari rata-rata	30,1	29,8
minimum	23,3	22,7

3.3 Angin setempat

a. Dari pembicaraan tadi tampak, bahwa keadaan angin musim berbeda arah menurut daerah. Selain angin musim/pasat antar benua, kita mengenal angin setempat yang agak kuat, namun yang lekas berubah lagi dalam waktu yang pendek.

Contoh-contoh adalah:

Angin pantai, yang disebabkan oleh perbedaan suhu dan tekanan antara daratan dan laut. *Angin laut* bertiup ke darat sampai sejauh 50 km (pukul 11.00-18.00) dan *angin darat* menuju ke laut antara jam 24.00-07.00. Juga ada angin yang mendahului hujan lebat, disebabkan karena suatu perubahan keadaan suhu serta tekanan udara. Demikian juga angin yang turun dari gunung, bila lembah di malam hari masih panas dan di gunung sudah cepat menjadi dingin. (Angin Gunung, bertiup sekitar pukul 21.00). *Angin gunung* yang kuat terdapat misalnya di Sumatra Timur dan pada malam hari di Teluk Bayur Padang. *Angin lembah* yang panas bertiup ke arah sebaliknya pada siang hari mulai pukul 09.00 sampai matahari terbenam. *(lihat juga gambar 3).*

b. *Angin-angin Gunung dan Lembah bernama khusus:*

Nama	Angin	perjalanan	sifat
1. *Kumbang*	Tenggara (musim Timur)	*naik* peg. Pembarisan di lereng selatan	membawa hujan
		turun ke dataran Cirebon	keras, kering panas
2. *Gending*	Tenggara (musim Timur)	*naik* peg. Tengger, Iyang Ijen	membawa hujan
		turun ke dataran Pasuruan Probolinggo	keras, kering, panas.
3. *Bohorok*	Barat Daya	*naik* peg. Bukit-Barisan melalui dataran tinggi Toba	basah, membawa hujan lebat
4 *Brubu*	Tenggara	*naik* G. Lompobatang lalu *turun* (jatuh) di dataran Ujung-Pandang	basah, membawa hujan
5. *Wambrau*	Tenggara	*naik* pegunungan Salju Irian Jaya di lereng selatan lalu	basah membawa hujan
		turun ke pulau Biak	kering, panas
6. *Sumatraantjes*	Angin darat	malam hari *turun* dari pegunungan Sumatera ke Selat Malaka. Ada tempat-tempat lainnya yang karena kedudukan topografisnya selalu dihembusi angin yang hanya berpusing-pusing saja. Angin pusing yang diakibatkan oleh pepaduan gerak udara dari jauh dan daerah luas dengan susunan tertentu perbedaan tekanan udara, dan yang semakin berhimpun sangat kuat, sangatlah berbahaya, (siklon, tyfon). Untung kawasan Nusantara jarang sekali terkena siklon-siklon besar. *(lihat gambar 23)*	

3.4 Skala Beaufort untuk kecepatan angin

a. Untuk keperluan praktis di daerah yang tidak mungkin memiliki alat pengukur kecepatan angin (disebut anemometer), ada manfaatnya kita mempergunakan petunjuk pertama yang sederhana. Cara yang dipakai ialah sangat biasa: mengamat-amati gerak asap yang mengepul ke atas. Dengan cara itu *Sir Francis Beaufort* (1808), admiral dan ahli ilmu bumi Inggris terkenal, menyusun skala penggolongan angin. Skala Beaufort ini biar sudah tidak modern lagi, tetap masih menjadi penolong berguna untuk keperluan kita. Daftar di bawah ini adalah yang terkenal sebagai:

KLASIFIKASI ANGIN SKALA BEAUFORT

Nomor Beaufort	Gejala	Kecepatan mil/jam	Km per jam
0	Asap mengepul vertikal.	kurang dari 1	4,6
1	Arah angin tampak dari serabut-serabut lepas dari asap. Belum dari kepulan asap yang condong.	1–3	1,6–4,8
2	Angin terasa di wajah. Daun berisik. Kepulan asap condong menunjukkan arah angin.	4–7	6,4–11,2
3	Daun dan ranting-ranting kecil bergerak terus. Angin bisa mengangkat kibaran bendera ringan.	8–12	12,8–19,2
4	Menghambur debu dan menerbangkan kertas. Dahan-dahan kecil bergerak.	13–18	20,8–29,6
5	Pohon-pohon kecil bergoyang. Riak-riak kecil mengombak di kolam, danau.	19–24	31,2–39,2
6	Cabang-cabang besar bergerak. Kawat-kawat telegrap terdengar saling bersinggung. Payung sulit dikuasai.	25–31	40,8–50,4
7	Pohon-pohon bergoyang. Berjalan melawan angin harus cukup bertenaga.	32–38	52–61,6
8	Dahan-dahan kecil putus. Berjalan melawan arus angin sudah sulit.	39–46	63,2–74,4

Nomor Beaufort	Gejala	Kecepatan mil/jam	Km per jam
9	Timbul kerusakan-kerusakan kecil pada bangunan. Genting-genting mulai berterbangan.	47–54	76–87,2
10	Pohon-pohon ambruk. Kerusakan bangunan lebih parah.	55–63	88,8–103,6
11	Malapetaka kerusakan meluas.	64–75	105,2–120
12	Angin taufan. (hurricane)	di atas 75.	120

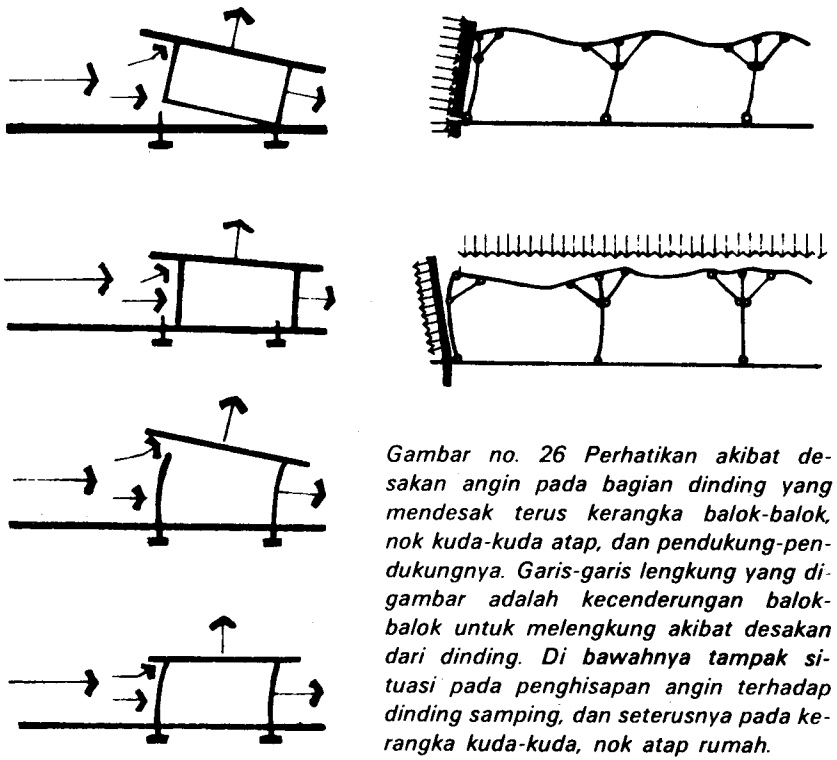
b. Seumumnya kerusakan yang ditimbulkan angin pada bangunan bersifat mekanis (kerusakan karena terkena daya kekuatan). Hantaman angin, hisapan angin, pemukulan dan sebagainya.

Tetapi di tepi pantai kerusakan yang disebabkan angin lebih jahat dan datang dari kadar garam pada udara yang menyusup ke mana-mana dan menimbulkan karaten pada segala yang bersifat logam. Terutama alat-alat elektronika dalam perabot rumah sangat menderita karenanya.

3.5 Tekanan dan hisapan angin

Sering orang-orang Jawa kuno dikeritik oleh kaum tehnik yang sok modern, karena mereka membuat konstruksi soko-guru dan balok-balok tumpuk pada rumah-rumah atau pendopo-pendopo joglo Jawa kuno, yang dianggapnya menghamburkan kayu dan karenanya mahal. Maka pernah suatu lembaga resmi pemerintah membangun pendopo joglo dengan yang disebut konstruksi ringan dan ekonomis. Satu kali terkena angin kencang, dan ambruklah pendopo itu. Ternyata bahwa arsitek-arsitek nenek moyang kita jauh lebih ahli dalam menilai kekuatan tekanan dan penghisapan angin terhadap rumah. Tentu saja kita tidak mudah melawan kekuatan taufan atau badai yang luar biasa kuatnya. Tetapi kita bisa mencegah banyak malapetaka dengan konstruktip yang tepat. Ada dua kekuatan yang dapat mengena rumah dari pihak angin, yakni tekanan angin (beban positip) dan hisapan angin (beban negatip). Tekanan terasa di pihak

sebelah sisi angin datang dan hisapan *(gambar 26)* terasa di pihak sisi angin pergi. Perhatikan dalam gambar, di mana angin dapat mengungkit atap. *(gambar 27)*.



Gambar no. 26 Perhatikan akibat desakan angin pada bagian dinding yang mendesak terus kerangka balok-balok, nok kuda-kuda atap, dan pendukung-pendukungnya. Garis-garis lengkung yang di gambar adalah kecenderungan balok-balok untuk melengkung akibat desakan dari dinding. Di bawahnya tampak situasi pada penghisapan angin terhadap dinding samping, dan seterusnya pada kerangka kuda-kuda, nok atap rumah.

Gambar No. 27

Catatan: Prinsip penanggulangan angin terlalu keras yang merugikan, pada dasarnya dapat dilakukan dengan cara-cara ini:

a. Buatlah tanggul atau perisai di luar rumah, di tepi halaman misalnya, dengan penanaman pohon-pohon yang tepat untuk dijadikan perisai. *(gambar 28)*.

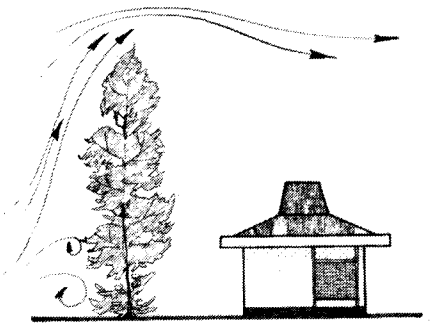
Pohon yang paling ideal ialah:

yang cepat bertumbuh tetapi berumur awet;

yang akarnya kuat menahan tekanan angin dan kayunya elastis;

yang daunnya kecil atau halus, sehingga luwes atau elastis juga menahan tekanan angin tanpa mudah patah atau rontok;

yang sedapat mungkin berguna atau paling sedikit tidak memiskinkan kesuburan tanah.



Gambar No.28

Dari segi fisik, pohon-pohon cemara yang tinggi dan yang ditanam rapat sungguh baik dijadikan dinding penanggulangan angin. Akar-akarnya kuat bertahan dan hampir tidak bisa tumbang. Lagi ia praktis dapat berfungsi sebagai penyalur/penahan halilintar.

Hanya akarnya rakus menghisap kesuburan tanah sedangkan pohon-pohon sejenis mlandingan dan sebagainya juga bagus menyuburkan tanah, tetapi tidak bisa tinggi dan daunnya mudah rontok.

b. Pilihlah tanah persil yang terlindung pada lereng di belakang gunung dan sebagainya, yang sebenarnya juga berprinsip asas perisai. Dari penyelidikan angin lokal orang dapat menarik kesimpulan tempat-tempat mana yang paling terkena angin.

c. Dari penelitian keadaan tanah di sekitar rumah yang akan dibangun, orang dapat memanfaatkan effek rem dari tanah yang tidak rata atau penuh dengan pohon maupun dengan perdu semak-semak. Sehingga angin yang datang sudah terhambat dan kurang kecepatannya.

d. Buatlah gedung yang relatip rendah untuk daerah-daerah angin kencang, dengan atap yang tidak berlereng curam.

e. Bentuk dan konstruksi gedung pun harus diwujudkan begitu rupa, sehingga daya-daya tekanan positip di pihak angin mendapat sanggahan yang memadai dan berfungsi sebagai perisai juga. Sedangkan di pihak hisapan negatip daya hisap dijawab dengan daya tarik menahan bagian-bagian yang mudah terpental keluar. Pada pokoknya janganlah sampai angin bisa masuk, sebab daya hisapan dari sisi luar lalu mendapat bantuan tambahan dari tekanan angin dari sisi dalam.

f. Dan akhirnya kita dapat bekerja begitu rupa, sehingga seandainyapun kita tidak berdaya melawan tekanan dan hisapan angin, kerusakan dapat kita jadikan minimum dengan prinsip: mengorbankan sebagian kecil dari bangunan demi keselamatan sebagian besar. Misalnya: biarlah genting-genting dan beberapa dinding kalah dan hancur, asal jangan seluruh gedung. Itu dalam keadaan terpaksa, bila persoalannya memang jauh melebihi kekuatan kita.

3.6 Beberapa Keputusan dari Peraturan Muatan Indonesia 1970 N.I.-18 Dep. P.U.T.L. Dit Jen. Cipta Karya

3.6 Muatan angin

***Pasal 4.1. Penentuan muatan angin** (gambar 29 a, b, c, d, e, f, g, h)*

Muatan angin diperhitungkan dengan mengandaikan adanya tekanan positip dan tekanan negatip (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positip dan tekanan negatip ini dinyatakan dalam kg/m², ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup (Velocity pressure) yang ditentukan dalam pasal 4.2 dengan koefisien-koefisien angin yang ditentukan dalam pasal 4.6.

Pasal 4.2. Tekanan tiup

(1) Tekanan tiup harus diambil minimum 25 kg/m², kecuali yang ditentukan dalam ayat-ayat (2), (3) dan (4).

(2) Tekanan tiup di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m², kecuali yang ditentukan dalam ayat-ayat (3) dan (4).

(3) Untuk daerah-daerah di dekat laut dan daerah-daerah lain tertentu, di mana terdapat kecepatan-kecepatan angin yang mungkin menghasilkan tekanan tiup yang lebih besar dari pada yang ditentukan dalam ayat-ayat (1) dan (2), tekanan tiup (p) harus dihitung dengan rumus:

$$p = \frac{V^2}{16} \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

di mana V adalah kecepatan angin dalam meter/detik, yang harus ditentukan oleh Instansi yang berwenang.

(4) Pada *cerobong*, tekanan tiup dalam kg/m² harus ditentukan dengan rumus (42,5 + 0,6 ht) di mana ht adalah tinggi cerobong seluruhnya dalam meter, diukur dari lapangan yang berbatasan.

(5) Apabila dapat dijamin suatu bangunan terlindung efektip terhadap angin dari suatu jurusan tertentu oleh bangunan-bangunan lain, hutan-hutan pelindung atau penghalang-penghalang lain, maka tekanan tiup dari jurusan itu menurut ayat-ayat (1) sampai dengan (4) dapat dikalikan dengan koefisien reduksi sebesar 0,5.

Pasal 4.3. Koefisien angin (untuk bagan koefisien angin, lihat tabel III)

(1) *Bangunan tertutup*

Untuk bidang-bidang luar, koefisien angin (+ berarti tekanan dan — berarti isapan), adalah sebagai berikut:

a. *Dinding Vertikal*

di pihak angin ..... +0,9
di belakang angin ..... –0,4
sejajar dengan arah angin ..... –0,4

b. *Atap segi-tiga dengan sudut kemiringan*

di pihak angin: $\alpha < 65°$ ..... (+0,02 –0,4)
$65° < \alpha < 90°$ ..... +0,9
di belakang angin, untuk semua α ..... –0,4

c. *Atap lengkung dengan sudut pangkal**

$\beta \leqslant 22°$: untuk bidang lengkung di pihak angin:
pada seperempat busur pertama ..... –0,6
pada seperempat busur kedua ..... –0,7
untuk bidang lengkung di belakang angin:
pada seperempat busur pertama ..... –0,5
pada seperempat busur kedua ..... –0,2

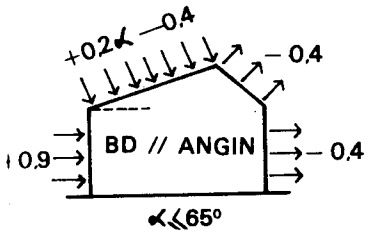
$\beta > 22°$: untuk bidang lengkung di pihak angin:
pada seperempat busur pertama ..... –0,5
pada seperempat busur kedua ..... –0,6
untuk bidang lengkung di belakang angin:
pada seperempat busur pertama ..... –0,4
pada seperempat busur terakhir ..... –0,2

d. *Atap segi-tiga majemuk*

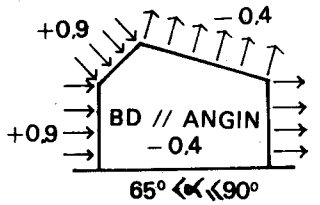
untuk bidang angin:
$\alpha < 65°$ ..... (+0,2α –0,4)
$65° < \alpha < 90°$ ..... +0,9
untuk semua bidang-bidang atap di belakang angin, kecuali yang Vertikal menghadap angin, untuk semua α ..... –0,4
untuk semua bidang-bidang atap vertikal di belakang angin yang menghadap angin ..... –0,4

*) Sudut pangkal adalah sudut antara garis penghubung titik pangkal dengan titik puncak dan garis horisontal.

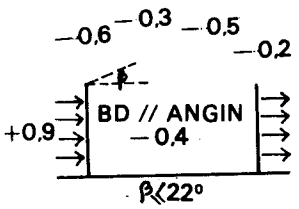
1. BANGUNAN TERTUTUP

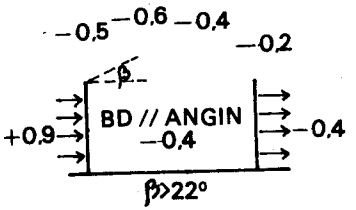


Gambar no. 29a

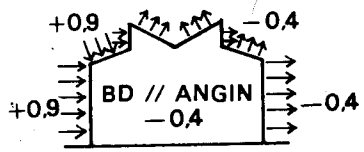


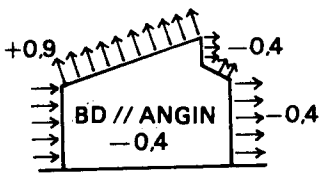
Gambar no. 29b

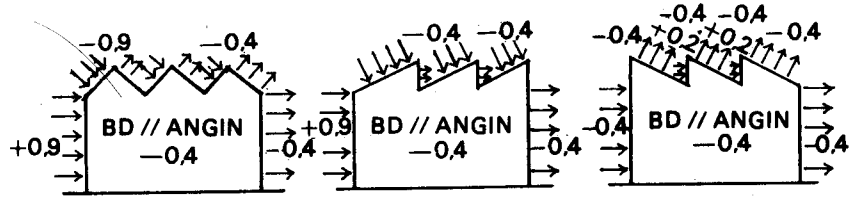




Gambar no. 29c





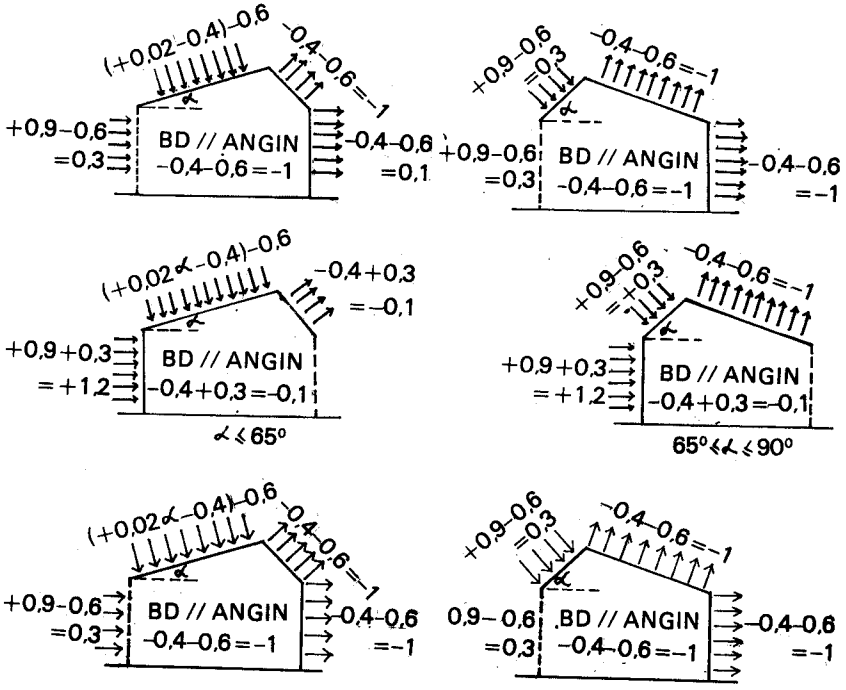


Gambar no. 29d

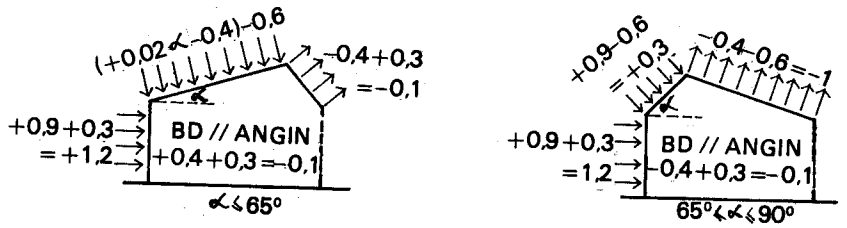
(2) *Bangunan terbuka sebelah* (gambar 29e)

Untuk bidang luar, koefisien angin yang ditentukan dalam ayat (1) tetap berlaku, sedangkan pada waktu yang bersamaan di dalam bangunan dianggap bekerja suatu tekanan positip dengan koefisien angin +0,6 apabila bidang yang terbuka terletak di pihak angin dan suatu tekanan negatip dengan koefisien angin –0,3 apabila bidang yang terbuka terletak di belakang angin.

2. BANGUNAN TERBUKA SEBELAH



Gambar No. 29e



(3) *Atap tanpa dinding* (gambar 29f)

a. Untuk muatan angin dari satu jurusan, atap pelana biasa tanpa dinding harus diperhitungkan menurut keadaan yang paling berbahaya di antara 2 cara (I dan II), dengan koefisien angin untuk bidang atas seperti berikut:

	Kemiringan atap	Bidang atap di pihak angin	Bidang atap lainnya.
I	$0° < \alpha < 20°$	–1,2	–0,4
	$\alpha > 30°$	–0,8	–0,8
II	$a = 0°$	+1,2	+0,4
	$10° < \alpha < 20°$	+0,8	0,0
	$\alpha = 30°$	+0,8	–0,4
	$\alpha > 30°$	+0,5	$(-0,4 - \frac{\alpha}{300})$

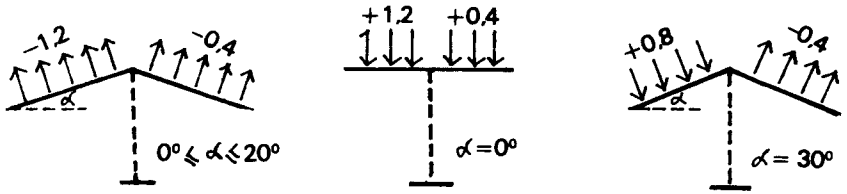
Untuk atap-atap pelana terbalik (atap-atap V) tanpa dinding, untuk bidang bawah dari atap berlaku koefisien-koefisien angin yang sama seperti untuk bidang atas atap pelana biasa.

b. Untuk atap-atap miring sepihak tanpa dinding, untuk bidang atas berlaku koefisien angin (– atau + bergantung pada arah angin) sebagai berikut:

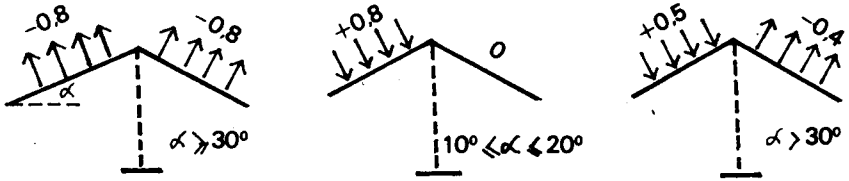
Kemiringan	Bidang atap di pihak angin	Bidang atap lainnya.
$0° < \alpha < 10°$	+ atau – 1,2	+ atau – 0,4
$\alpha = 40°$	+ atau – 1,8	+ atau – 1,0

Untuk kemiringan-kemiringan yang terdapat diantaranya, diadakan interpolasi linier.

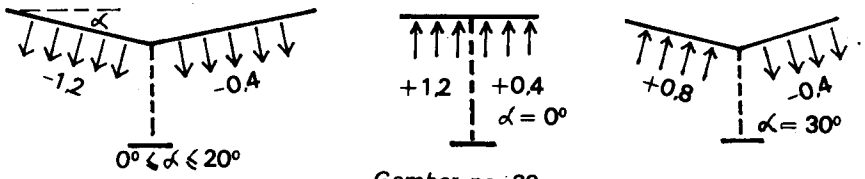
3. ATAP PELANA TANPA DINDING



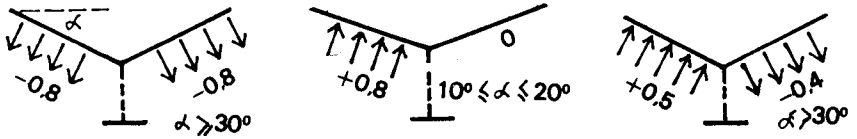
Gambar no. 29f



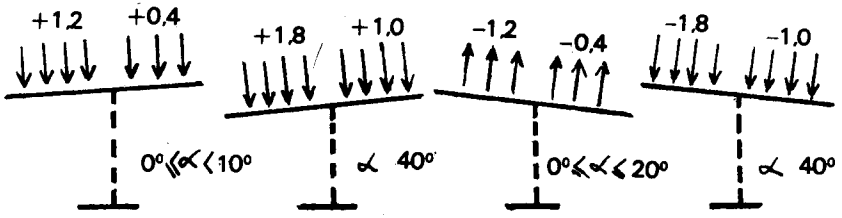
4. ATAP PELANA TERBALIK TANPA DINDING



Gambar no. 29g

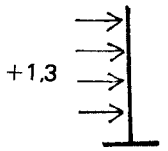


5. ATAP MIRING SEPIHAK TANPA DINDING



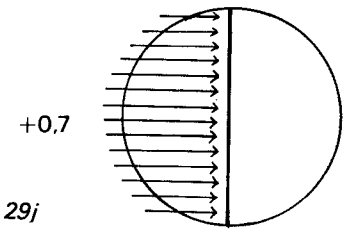
Gambar no. 29h

6. DINDING BERDIRI BEBAS



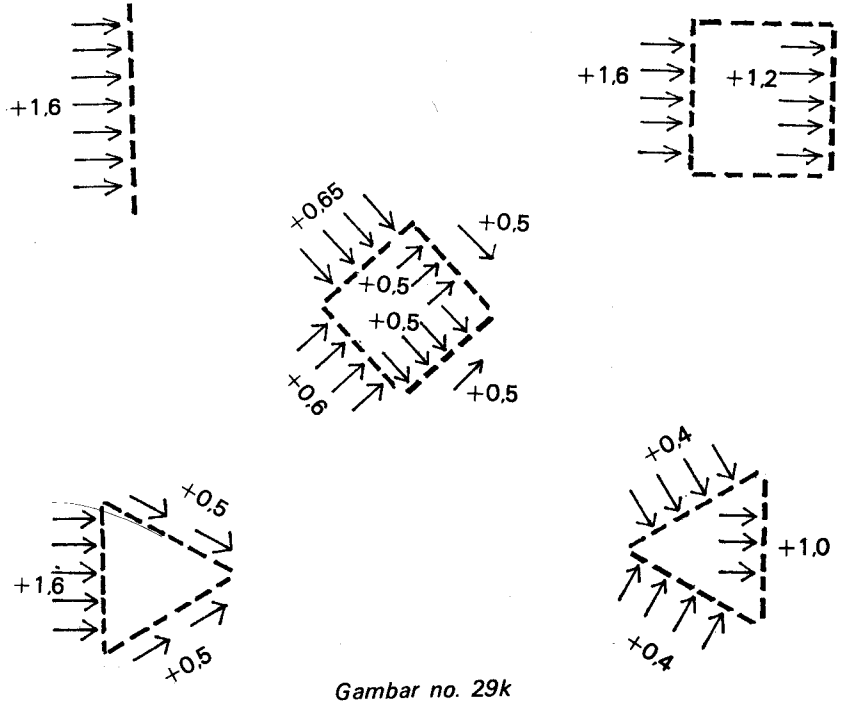
Gambar no. 29i

7. CEROBONG LINGKARAN

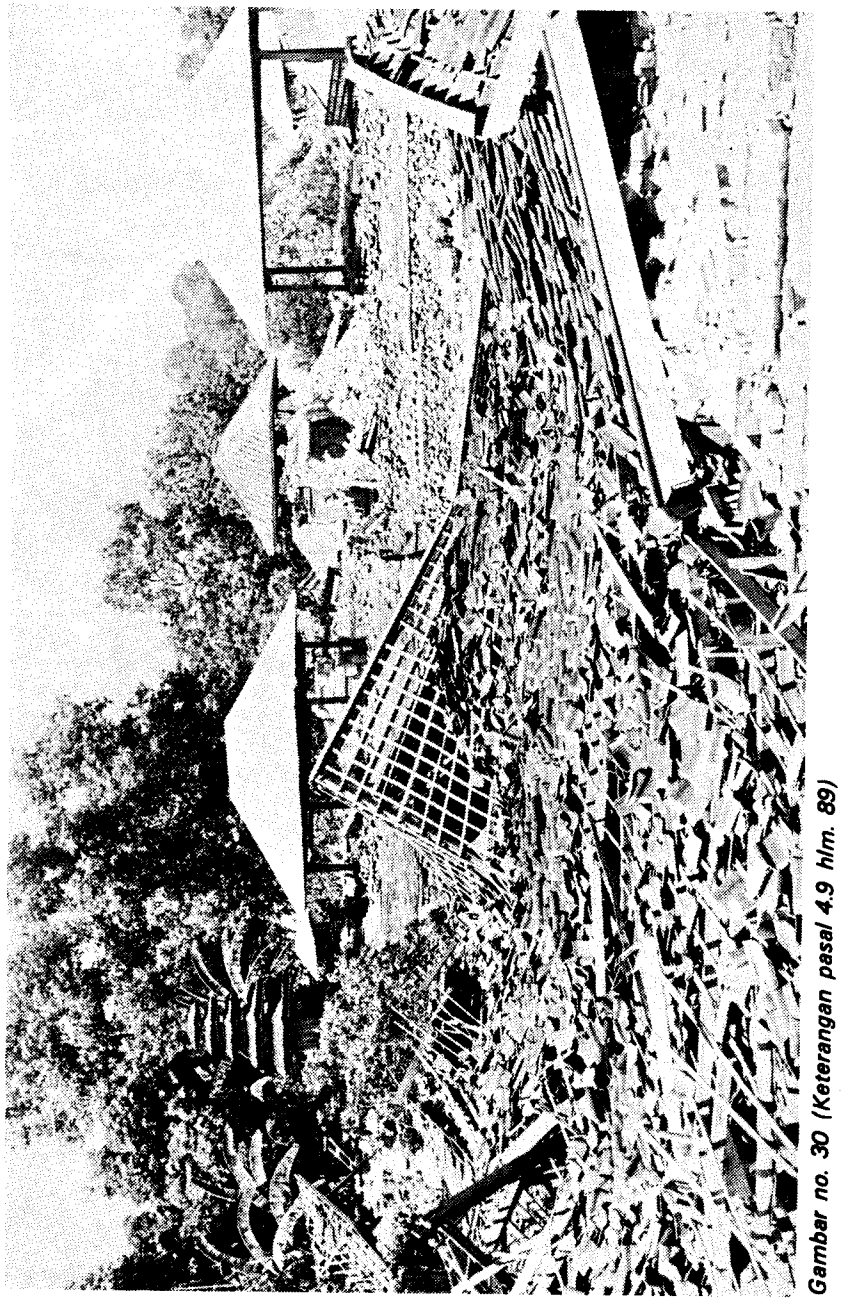


Gambar no. 29j

8. KONSTRUKSI RANGKA



Gambar no. 29k

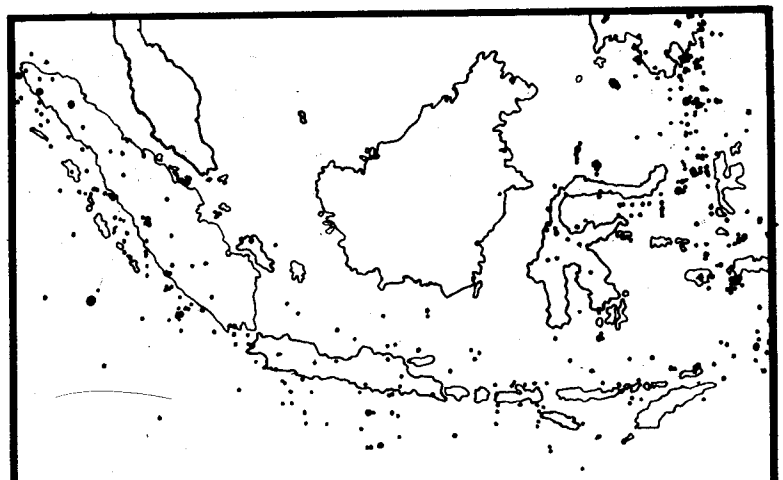


Gambar no. 30 (Keterangan pasal 4.9 hlm. 89)

4. GEMPA BUMI

4.1 Peta gempa bumi

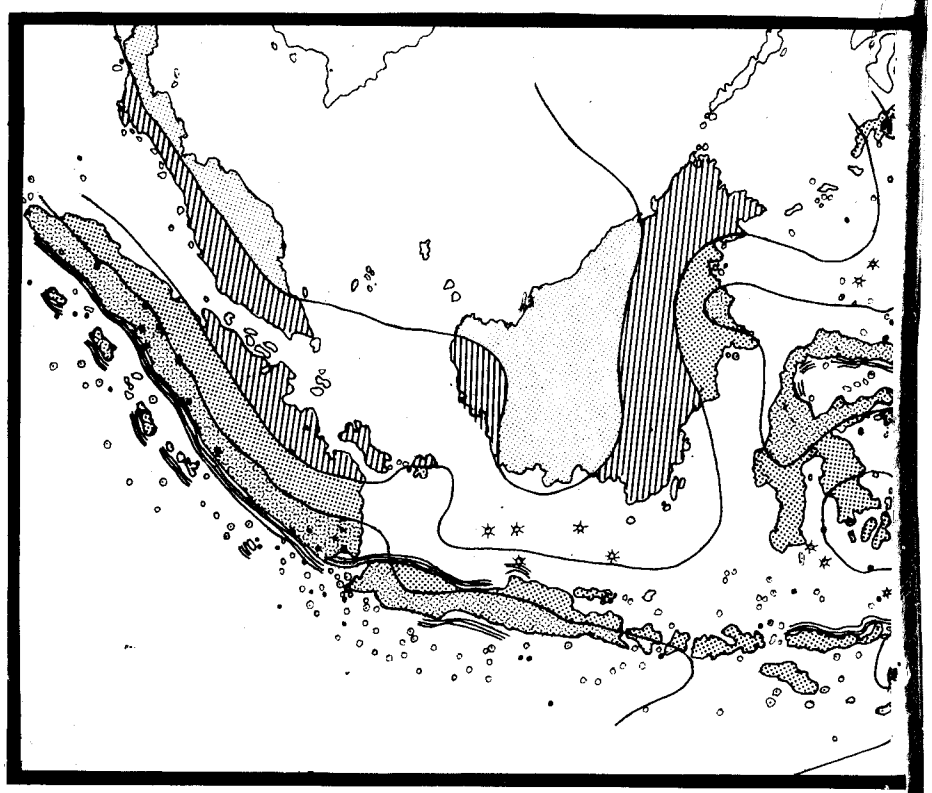
Dari peta *(gambar no. 30, 31a, 31b)* tampak, bahwa hampir seluruh Indonesia kecuali Kalimantan termasuk dalam daerah kaya gempa bumi. Jelaslah, pembangunan gedung atau rumah di sini harus mengindahkan pengaruh gempa, agar pada saatnya, bangunan tidak roboh atau menderita banyak. Maka perlulah kita mengetahui sedikit persoalan pokok susunan dan gerak bumi yang menyebabkan gempa. Sesudah itu kita menyelidiki pengalaman-pengalaman dari gedung-gedung yang ternyata dalam sekian gempa bumi masih bertahan. Walaupun penelitian susunan planet kita masih dalam penyelidikan terus menerus, namun untuk keperluan praktek sehari-hari, kita dapat menerima kesimpulan-kesimpulan berikut, berdasarkan penelitian para ahli tentang gelombang-gelombang bumi.

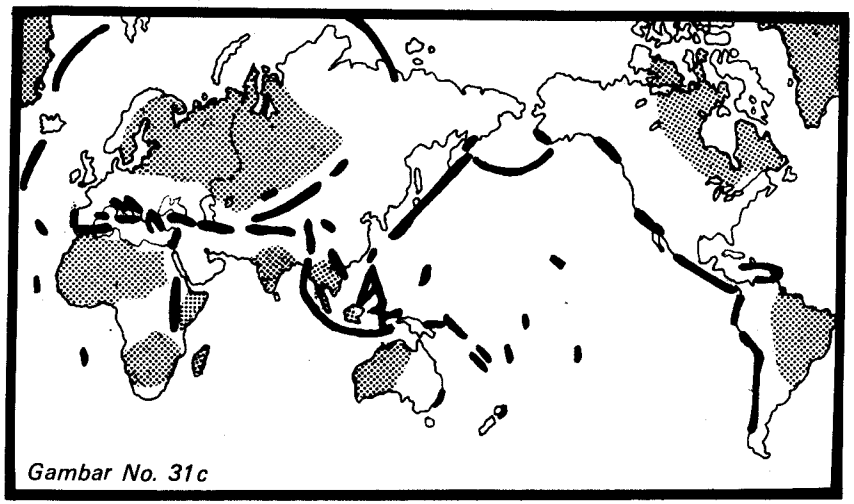


Peta episentra dari gempa bumi ringan sampai 1960

Gambar No. 31a

... TIMUR
... No. 32
A





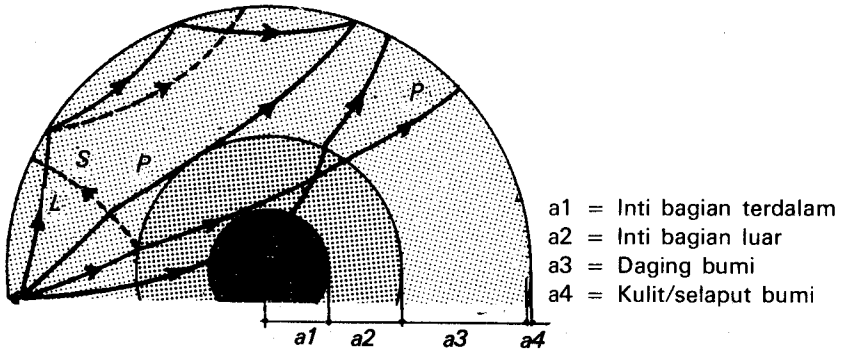
Gambar No. 31c

Gambar No.31b

(c) Daerah-daerah tertentu di Indonesia merupakan daerah gempa yang penting.
Dua dari *3 jalur gempa di dunia* bertemu di Indonesia, yaitu jalur *"Circum Pacific"* dan jalur *"Trans-Asiatic". (lihat gambar 31c).*
Di Indonesia ada 3 kelompok episentrum, yakni kelompok busur *Sunda,* busur *Banda,* dan busur *Sulawesi-Filipina.*
Kesatuan ukuran besar energi yang dilepaskan fokus disebut *magnitude* (M) seumumnya diukur dengan *skala Richter.* Fokus gempa bumi di daerah Sukabumi 1975 misalnya, terdapat pada kedalaman 33 Km (dangkal) dengan magnitude M = 6,3 skala Richter. (Kekuatan bom atom Hiroshima adalah M = 6,3). Tetapi di Hiroshima hiposentrum berhimpit dengan episentrum.

4.2 Susunan bola bumi dan sebab-musabab gempa bumi

(a) Planet kita yang berbentuk bola terdiri dari:
inti (core) – inti terdalam
– inti luar
daging (mantle)
kulit



a1 = Inti bagian terdalam
a2 = Inti bagian luar
a3 = Daging bumi
a4 = Kulit/selaput bumi

Gambar No. 32

1) *Inti bagian terdalam* terdiri dari bahan yang padat kompak sekali. berbahan besi, nikkel dan bahan-bahan padat lain. Suhu pada inti tengah ini relatip tidak terlalu tinggi, tetapi tekanan di situ sampai mencapai tiga juta Atmosfir.

2) *Inti bagian luar* adalah cair dan mungkin terdiri dari jenis batu yang meleleh di bawah tekanan sangat tinggi.

3) Inti tadi ditutupi oleh yang disebut *daging bumi* (ibarat buah) (bahasa Inggris: mantle) yang terdiri dari lapisan-lapisan zat batu yang setengah lembek plastis.

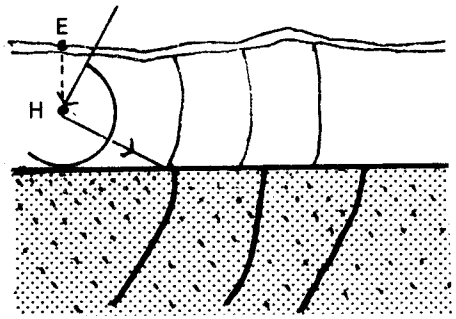
3) Daging bumi diselaputi *kulit bumi* yang relatip sangat tipis bila dibandingkan dengan garis tengah bola planet bumi; dan yang terdiri zat padat yang tebalnya bermacam-macam.

4) Di bawah samudera, tebal kulit mungkin hanya 4,5–9 km, sedangkan di bawah benua-benua kira-kira setebal 45 km. Di bawah gunung-gunung tinggi kulit bumi bisa mencapai tebal 70 km. Rata-rata tebal kulit bumi 36 km.

(b) Para ahli berpendapat, bahwa ada tiga sebab utama yang menimbulkan gempa bumi:

1) Pendinginan kulit bumi yang disertai pengeriputan.
2) Yang lebih penting ialah akibat erosi kulit bumi dan pengendapannya. Dalam jarak waktu geologi, erosi itu semakin bertambah cepat dan itu menyebabkan goncangan-goncangan karena tekanan terhadap selimut berubah.
3) Dalam bagian daging bumi itu sendiri bahan-bahan radioaktip terurai. Itu menimbulkan kalor. Sebagian kalor menyebabkan arus-arus pada bahan daging bumi, sedangkan sebagian melotot keluar melalui kulit bumi.

Ketiga sebab utama tersebut menimbulkan ketegangan-ketegangan pada daging dan kulit bumi. Dan bila tegangan itu terlalu tinggi, maka daging dan kulit retak. Keseimbangan lalu goncang dan keseluruhan bergerak terus sampai stabilitas tercapai lagi.
Bidang keretakan bisa mengarah horisontal atau/dan vertikal. Tempat gerak pokok keretakan tersebut di atas disebut *FOKUS gempa Hiposentrum.* Titik di permukaan bumi tepat vertikal di atasnya disebut *EPISENTRUM. (gambar 33).*



H = Hiposentrum
E = Episentrum

Gambar No.33

4.3 Getaran-getaran gempa bumi

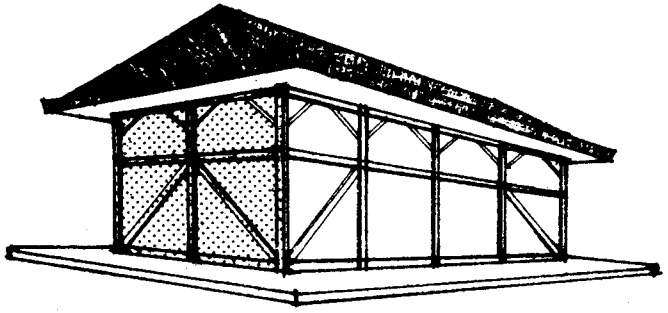
Ada 3 macam getaran gempa. *(lihat gambar 32).*
Gelombang pertama bersifat *Longitudinal,* yaitu gelombang yang menggerakkan bahan yang dilaluinya bergetar maju-mundur atau kian kemari, berhimpitan dengan arah rambatan gelombang, disebut *gelombang P*

(Primary wave). Gelombang awal kedua adalah *transversal,* artinya yang bergerak tegaklurus terhadap arah rambatan gelombang. Gelombang ini disebut *Gelombang S (Secondary wave)*.
Sedang getaran ketiga berjalan pada permukaan tanah dan disebut *"Large wave (gelombang L)*.
Dari pengamatan ternyata gelombang P merambat (dengan kecepatan ± 3,75 mil/detik), kira-kira 1,75 kali kecepatan merambat gelombang S (2,2 mil/detik).
Persoalan-persoalan praktis selanjutnya serta pertimbangan-pertimbangannya untuk bangunan terdapat dalam pasal berikut.

4.4 Beberapa catatan praktis

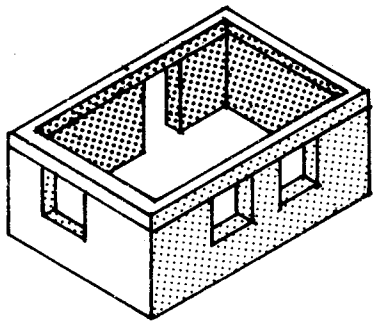
Dari pengalaman ternyata, bahwa yang sangat menentukan ketahanan gedung ialah dua hal:
bahan yang dipakai
struktur yang dipilih
Ketahanan bangunan tidak hanya jumlah total dari sekian ketahanan masing-masing unsur, tetapi keseluruhan susunan dan *struktur bangunan* sangat menentukan ketahanan.
Maka di bawah ini Tropical Building Section dari Building Research Station di *Garston England* memberi catatan-catatan demi perencanaan gedung yang tahan gempa bumi.

a. Bangunan-bangunan berkerangka kayu seumumnya bertahan baik, karena kayu adalah materi yang kuat dan cukup elastis. Sebaliknya bagian-bagian menjulang dari batu-batu sungguh merupakan bahaya. Tetapi kerangka kayu pun masih membutuhkan pengkaku-pengkaku silang. *(gambar 34a)*



Gambar No.34a

b. Kekuatan pasangan batu atau bata sebagian terbesar tergantung dari perekatnya. Perekat kapur kerap hancur, sedangkan perekat PC-pasir atau PC-kapur-pasir cukup bertahan. Pasangan bata kerap hancur bila tidak diikat kerangka. Pasangan bata yang bertulang ternyata baik untuk bangunan-bangunan biasa. *(gambar 34b)*



Gambar no. 34a, 34b Banyak gedung-gedung SD dll yang dibangun oleh dinas PU jaman Belanda memakai sistim kerangka kayu; dengan dinding pengisi (batu atau batu bata) yang tidak memikul beban yang elastis. Sistim ini sangat baik, relatip murah, fleksibel dan indah juga. Sayang sekarang sudah banyak dilupakan. Padahal untuk gedung SD dan tempat tempat pertemuan lain, bahaya gempa mengancam sekali pada anak-anak kita. Sedangkan banyak gedung-gedung SD "moderen" cukup berbahaya tak tahan gempa bumi.

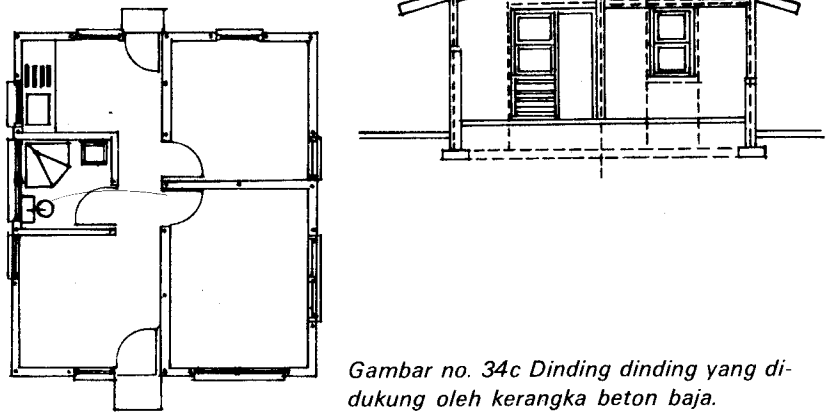
Gambar No.34b

c. Dinding-dinding dari tanah liat selalu roboh.

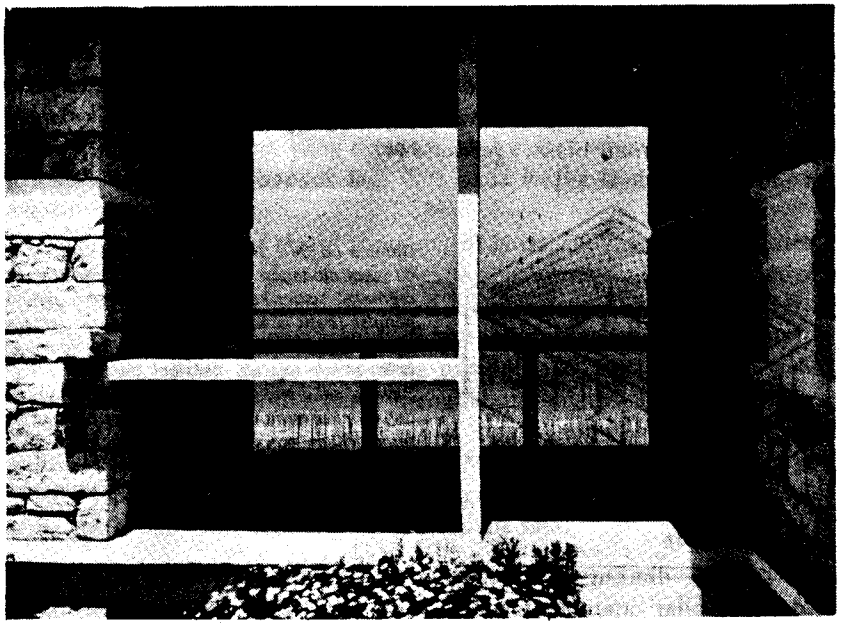
d. Pilar-pilar atau tiang-tiang dari bata atau batu tak bertulang seumumnya berbahaya.

e. Dalam bangunan-bangunan berkerangka, dinding-dinding panel mudah lepas dari frame bila tidak diikat kuat.

f. Alas yang baik adalah penting dan dalam daerah-daerah kaya gempa mereka harus diikat kontinyu dengan tulang besi. *(gambar 34c, 35)*.



Gambar no. 34c Dinding dinding yang didukung oleh kerangka beton baja.

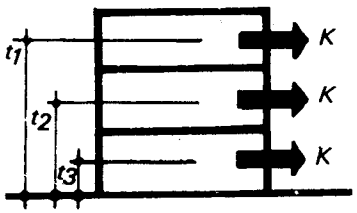


Gambar no. 35 Susunan dinding batu alam dan kerangka beton polos (tanpa penghalusan) secara jujur wajar dan indah sederhana. Dan yang sekaligus menunjukan sistim konstruksi yang kuat bertanggung jawab terhadap serangan-serangan gempa bumi. (Arsitek: Aris Konstantinides, Atena Yunani).

Bangunan-bangunan yang kaku jauh lebih bertahan bila berdiri di atas cadas atau tanah keras dari pada di tanah endapan atau urugan.

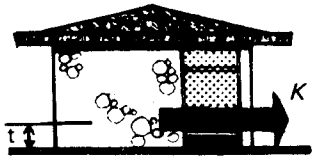
g. Dinding-dinding hiasan, plesteran-plesteran dan bagian-bagian bangunan yang lepas sangat mudah jatuh.

h. Bangunan-bangunan yang dibangun dengan tingkat bawah yang berat, tingkat atas yang ringan (bila ada) dan dengan atap yang ringan lebih bertahan dari pada bangunan-bangunan dengan atap-atap berat dan dinding-dinding ringan *(gambar 36)*.



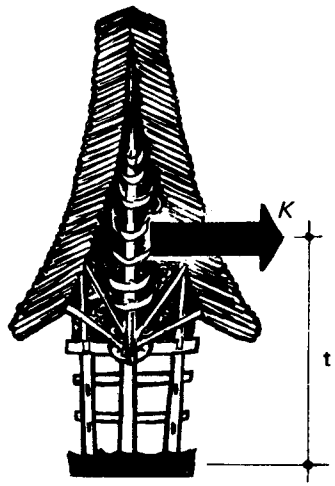
Gambar no. 36a. Akibat kekuatan gempa bumi yang menimpa gedung tergantung juga dari tinggi bangunan yang menimbulkan momen K X t.

Gambar no. 36b. Ditinjau dari ketahanan stabilitas bangunan, menguntungkanlah bila titik berat bangunan terletak rendah.



Gambar no. 36c

Gambar no. 36c Momen Kxt kecil. Walaupun momen kecil, akan tetapi bahan dan cara berkonstruksi batu dinding dan pondasi kurang menguntungkan daya tahan terhadap gempa bumi. Keseluruhan terlalu kaku, tidak elastis. Daya tahan di sini hanya bisa diperbaiki dengan kerangka beton-beton bertulang mahal yang sebenarnya tidak perlu, andai kita mencari cara pembangunan yang lebih tepat namun tidak kurang indah.



Gambar no. 36 d. Momen : K x t besar. Tetapi nenek moyang kita dulu cukup bijaksana mengkonstruksi rumah-rumah di atas tiang-tiang. Bahan (kayu, bambu ijuk dsb) beserta konstruksinya cukup elastis fleksibel. Tiang-tiang dan seluruh bangunan pada saat gempa bumi atau angin kencang tidak roboh tetapi hanya melenggang saja. Baru sesudah konstruksi-konstruksi jiplakan Barat (tanpa pengertian tentang maksud dan asal mulanya) dioper penduduk, banyak bencana terjadi sebagai akibat gempa bumi.

Gambar 36d.

i. Bagian-bagian lengkung dan balok-balok atas selalu merupakan unsur-unsur yang mudah roboh.

4.5 **Saran-saran**

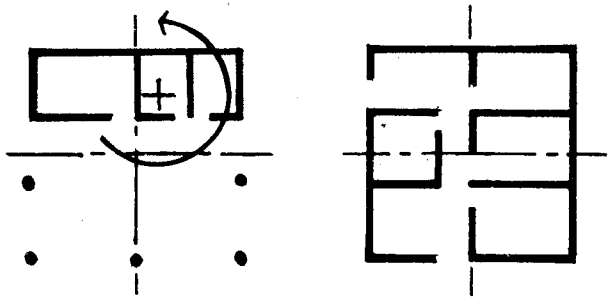
Oleh karena itu hal-hal berikut ini pantas dipertimbangkan. Tentu saja menurut derajat bahaya yang menurut pengalaman dapat menimpa sesuatu tempat.

a. Prinsip umum yang dipakai untuk gedung-gedung kecil atau madya ialah membuat *susunan* bangunan menjadi suatu kotak yang kaku dengan misalnya:

1). merangkakan dinding-dinding dalam suatu kerangka tulang yang mengikat/mengurung dinding-dinding rapat tetap *(lihat gambar 34b, 34c, dan 35).*

2). membuat susunan dinding yang sesimetris mungkin, karena dengan demikian pembagian gerak getaran yang diterima dari tanah lebih teratur. *(gambar 37a, b).*

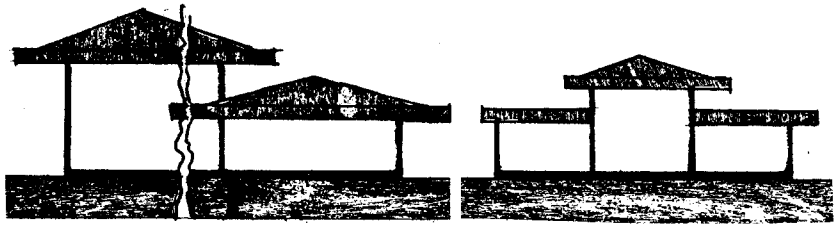
3). lubang-lubang besar, jendela dan sebagainya dihindari, terutama pada dinding-dinding luar di bagian sudut. Jendela-jendela toko yang besar harus diberi penguatan-penguatan yang khusus.



Kurang bertahan terhadap goncangan

Lebih kuat bertahan terhadap goncangan

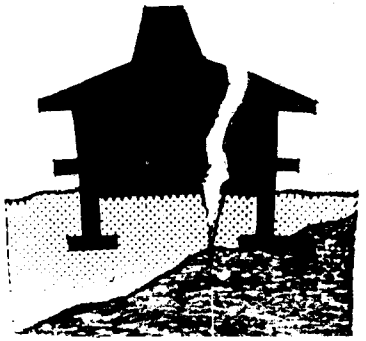
Gambar no. 37a



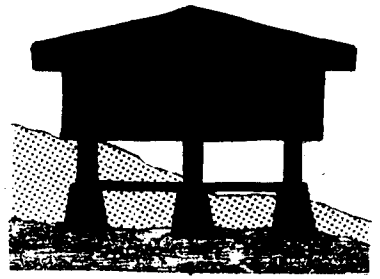
Gambar no. 37b Susunan bangunan yang simetris relatip lebih bertahan terhadap getaran gempa bumi.

b. Pondasi dan segala alas yang dibangun dalam daerah gempa aktip jangan diletakkan sebagian di tanah keras dan sebagian di tanah lunak. Sebab dengan begitu, alas akan retak pada tempat pertemuan tanah keras dan tanah lunak *(gambar 38a).*

c. Pondasi pada tempat-tempat yang tidak datar, jangan diberi bentuk bertangga, tetapi keseluruhannya dipasang pada kedalaman yang sama keliling bangunan. *(gambar 38b).* Sebaiknyalah bila pondasi diikat satu sama lain dengan pertulangan kontinyu seluruhnya. (lihat: pasal 13.2; gambar no. 160e)



Gambar no. 38a



Gambar no. 38b

d. Sering terjadi dalam persil-persil tengah kota, pondasi diberi perkuatan-perkuatan hanya pada satu dua pihak saja, karena di sisi-sisi lain seolah-olah sudah membonceng pondasi-pondasi gedung tetangganya. Hal itu berbahaya.

e. Pengalaman menunjukkan, bahwa rumah-rumah bertingkat satu dari bahan-bahan batu alam atau batu dengan perekat PC/pasir atau PC/kapur/pasir seumumnya memuaskan. Perekat labur biasanya atau labur dengan pasir tidak cukup dan membahayakan. Apalagi blok-blok batu tanpa perekat.

f. Dalam daerah gempa lebih bijaksanalah bila bagian-bagian alas dinding setinggi lantai dan bagian-bagian di atas pada muurplat dibuat selaku ban beton bertulang (sloof). Di tempat-tempat lebih berbahaya lagi, masih bisa ditambah dengan ban-ban vertikal dan horizontal yang mengikat keseluruhan dinding secara ketat.

g. Dinding-dinding dengan batu-batu cetak berlubang harus diperkuat dengan tulang-tulangan pada beberapa jalur batu dan diisi dengan perekat sehingga masif.

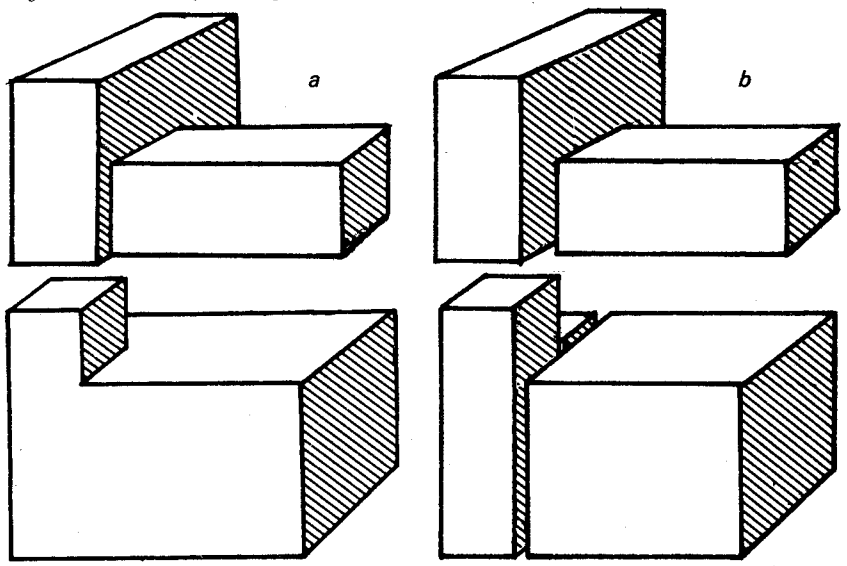
h. Cerobong-cerobong menjulang harus bertulang, diikat ketat pada tingkat muurplaat.

i. Di beberapa daerah kita, bangunan sering diletakkan di atas tiang-tiang dengan ruang bawahnya serba bebas. Jenis bangunan seperti ini, yang terbuat dari batu alam atau batu bata harus mendapat perhatian khusus, karena dalam saat gempa bagian dasar atau atap biasanya hancur karena akibat kekuatan pergeseran tanah.

j. Untuk bangunan-bangunan madya paling baik bila digunakan konstruksi rangka bertulang dengan dinding-dinding luar dan dinding-dinding melintang yang diikat dalam suatu frame. Dinding-dinding itu dapat dibuat dalam beton bertulang, atau batu-batu, baik batu alam maupun batu bata yang bertulang.

k. Banyak kerusakan dan korban gempa disebabkan oleh bermacam-macam hiasan dan tambahan-tambahan pada bangunan. Oleh karena itu hindarkanlah segala macam balkon, hiasan tempelan, tambahan-tambahan lepas maupun cerobong-cerobong yang mudah terkocok dan terjatuh. Dinding-dinding lepas harus diperkuat juga.

l. Bangunan-bangunan sebaiknya dibuat bersusunan sederhana, jangan kompleks *(gambar 39a)*. Bangunan yang berbentuk L, misalnya dipisahkan saja konstruksinya menjadi dua bangunan. *(gambar 39b)*



Gambar no. 39a, 39b Bentuk-bentuk massa bangunan yang kompleks majemuk (sebelah kiri) selalu dihindarkan! Lebih baik diuraikan selaku kumpulan saja dari volume-volume tunggal sederhana (simpleks) yang lepas satu dari yang lain. Demikian getaran dan gerak setiap bagian tidak dipengaruhi oleh pihak lain, karena bentuk dan massa bangunan punya pengaruh dan akibat yang tidak sama. Dari segi cita rasa modern bentuk-bentuk yang sederhana (bentuk bentuk asli, primer) juga dirasakan lebih indah, karena lebih wajar.

Demikian juga yang berbentuk U dijadikan saja tiga unit konstruksi yang saling terlepas. Sebabnya ialah, bahwa dua bangunan dengan massa dan letak berlainan arah akan mengalami getaran yang berlainan watak, maupun frekwensi, sehingga cara mereka bereaksi terhadap gempa akan berlainan pula. Bila mereka diikat satu dengan yang lain maka tempat-tempat hubungan-hubungan mereka akan mengalami tegangan-tegangan tinggi. Jadi prinsipnya ialah, bahwa bentuk bangunan yang kompleks harus diuraikan menjadi bagian-bagian yang simpleks (sederhana) bentuknya. Dan mereka harus dihubungkan satu dengan yang lain dengan hubungan-hubungan yang lepas atau elastis. Meskipun secara visuil mereka seolah-olah dihubungkan, namun secara konstruktip saling tidak berhubungan. Jarak pemisahan mereka secara praktis dapat diperkirakan paling sedikit 7 cm (PBI).

m. Perencanaan menara (menara air misalnya) harus diberi perhatian khusus, karena masalahnya memang kompleks dan sulit. Yang jelas, menara-menara harus dilepaskan dari bangunan lain sehingga ia dapat bergetar sendiri tanpa mempengaruhi atau dipengaruhi unsur-unsur lain. Tangki-tangki air dipasang pada atap bangunan harus diikat ketat dengan bangunan sehingga getarannya mengikuti selaras bagian-bagian bangunan lain.

n. Demikian juga detail-detail pada atap harus dibuat sesederhana mungkin dan diikat satu dengan lain.

o. Unsur-unsur kamar mandi, WC harus diusahakan, agar bagian-bagian yang mudah pecah (porselin dan sebagainya) diikat ketat dengan dinding atau lantai. Sedangkan pipa-pipa penyambung dibuat elastis hubungan-hubungannya sehingga penggetaran pada pipa-pipa tidak mudah berakibat pecahnya bagian-bagian yang mudah pecah.

p. Perhatian sangat khusus harus diberikan juga pada bagian-bagian bangunan/rumah tempat ada api, dapur dan sebagainya, karena setiap malapetaka gempa bumi, selalu disertai kebakaran yang mudah timbul dari api-api dapur dan sebagainya.
Demikian, maka cerobong-cerobong api dapur tidak mengandung unsur-unsur kayu, atau bahan-bahan lain yang mudah terbakar.
Cerobong-cerobong tersebut harus dibuat dengan perekat semen PC dengan tulang-tulangan besi atau dari bahan-bahan plat-plat besi, seng dan sebagainya yang kuat.

q. Kerangka-kerangka baja harus diselimuti rapat oleh bahan anti api. Pucuk dan ujung besi-besi/baja tulangan beton harus selalu ditekuk dan tidak dibiarkan lurus saja, demi pengikatan yang lebih sempurna dengan beton.

r. Aparatur pemadam kebakaran di dalam bangunan harus lebih dari cukup, karena biasanya unit-unit penolong pemadam api tidak bisa datang cepat pada waktunya dan tidak selalu mudah mendapat air.

s. Di Rusia, jarak antara bangunan yang satu dengan yang lain di dalam daerah-daerah banyak gempa bumi mendapat tambahan 20% dibanding dengan daerah aman.

t. Akhirnya segala perencanaan detail harus dibuat seksama dan cermat lagi menyeluruh.

4.6 Catatan tentang bahaya taufan

Bahaya taufan dan bahaya gempa bumi sama-sama berbahaya, dan dari beberapa segi mereka punya kemiripan satu sama lain dalam pengaruhnya pada bangunan.
Keduanya menggarap bangunan dengan horisontal.
Tetapi ada perbedaan besar juga, yakni bahwa:

a. Taufan menimbulkan tekanan-tekanan positip dan negatip (sedotan di pihak hilir angin) baikpun pada atap maupun dinding-dinding.

b. Jumlah gaya horizontal tersebut tergantung dari bentuk bangunan, ditinjau dari arah mudik hilir angin.

Taufan berjalan dalam waktu yang lebih lama dari pada gempa.

d. Perhitungan kekuatan-kekuatan yang berakibat pada bangunan, terutama yang berloteng banyak, didasarkan atas perhitungan tenaga-tenaga horisontal yang bekerja pada setiap loteng dan yang jumlah totalnya sama dengan kekuatan-kekuatan penggeser dari bumi yang mendorong bangunan pada alas. Pengalaman menunjukkan, bahwa sering bangunan-bangunan yang bertahan terhadap taufan, bertahan juga terhadap gempa. Tetapi itu tidak selalu begitu. Oleh karena itu, di daerah-daerah, tempat bahaya taufan maupun gempa bumi sering timbul, sebaiknyalah perhitungan ketahanan harus dihitung sendiri-sendiri; yang satu terhadap taufan dan yang lain terhadap gempa. Dipilih di antara keduanya yang dapat menahan kedua bahaya itu.

4.7 Instalasi-instalasi pelayanan-pelayanan umum

a. Dalam gempa yang kuat, pipa-pipa biasanya patah terbengkok, terutama pada batas antara tanah keras dan tanah lunak. Oleh karena itu justru di situ, pipa harus diletakkan dalam suatu rongga yang dapat menolong reaksi elastis dari pipa terhadap perbedaan getaran kedua jenis tanah tersebut.

b. Talang-talang atau selokan-selokan yang melebar dangkal biasanya kalah tahan dengan jenis selokan-selokan yang sempit tetapi dalam. Pipa-pipa talang yang dimasukkan ke dalam tanah, pasir dan sebagainya akan mudah patah.

c. Bahaya yang besar datang dari kawat-kawat listrik yang lepas. Maka pemasangan sekring atau handle utama dalam rumah, yang bisa mematikan seluruh listrik dalam bangunan, harus diletakkan di luar sehingga dalam keadaan bahaya mudah dicapai dan mematikan seluruh arus listrik.

d. Sekali lagi bahaya terbesar datang dari kebakaran. Dalam malapetaka gempa bumi di San Fransisco tahun 1906, hanya 5% dari kerusakan datang dari gempa, 95% datang dari kebakaran yang membuntuti gempa.

Oleh karena itu selain persoalan konstruksi dan susunan rumah, dalam daerah kaya gempa perhatian khusus harus diberikan terutama pada penanggulangan dan pengatasan bahaya kebakaran.

e. Itu menyangkut juga susunan dan pengamanan saluran listrik atau di beberapa kota yang sudah memakainya, saluran-saluran gas bumi. Tidak lupa juga bahaya yang dapat ditimbulkan oleh bahan-bahan kimia tertentu yang mudah meletus, bensin, minyak dan sebagainya. Gudang maupun garasi harus mendapat perhatian dalam sistim perencanaan rumah/bangunan.

f. Dari sebab itu perencanaan susunan rumah yang mengindahkan bahaya gempa-kebakaran tersebut akan mempertimbangkan tempat-tempat, lubang-lubang, jalur-jalur maupun tangga-tangga pelarian yang khusus.

4.8 Reparasi-reparasi

Akhirnya harus diingat selalu, bahwa bangunan bukanlah organisme hidup yang punya kemampuan untuk memperbaiki sendiri unsur-unsur yang terlanjur rusak atau terluka.
Bila dinding retak atau konstruksi balok lepas, maka dinding itu tetap retak dan tidak bisa baik lagi seperti semula, seperti kulit terluka yang dapat utuh kembali. Setiap keretakan atau kerusakan adalah permanen dan setiap gempa yang mendatang akan membuat kerusakan itu lebih parah lagi. Oleh karena itu pembetulan kerusakan sesudah gempa terpaksa harus serba total penuh. Dari sebab itu pula perencanaan konstruksi dan susunan bangunan rumah sejak awal mula harus bagus dan dibuat tahan gempa maupun taufan sekuat mungkin.
Ternyata bahwa di Indonesia terutama di daerah yang kaya gempa, bahan kayu masih tetap bahan yang paling bagus.

4.9 Kebijaksanaan nenek-moyang

Dalam gempa bumi besar di Bali beberapa waktu yang lalu, seperti tampak dari foto dokumentasi*(gambar no. 30)* terbukti, bahwa gedung-gedung berkonstruksi "moderen" hancur, sedangkan yang berkonstruksi tradisional bertahan. Sebab utama: *susunan* konstruksi tradisional, dengan bahan kayu yang *elastis* fleksibel, berpondasi *titik (lihat pasal 13)* dari *tiang-tiang pendukung tanpa pembebanan pada dinding-dinding,* memungkinkan seluruh bangunan bisa "melenggang" menyesuaikan diri secara elastis dengan getaran.

III

KENIKMATAN FISIK (COMFORT)

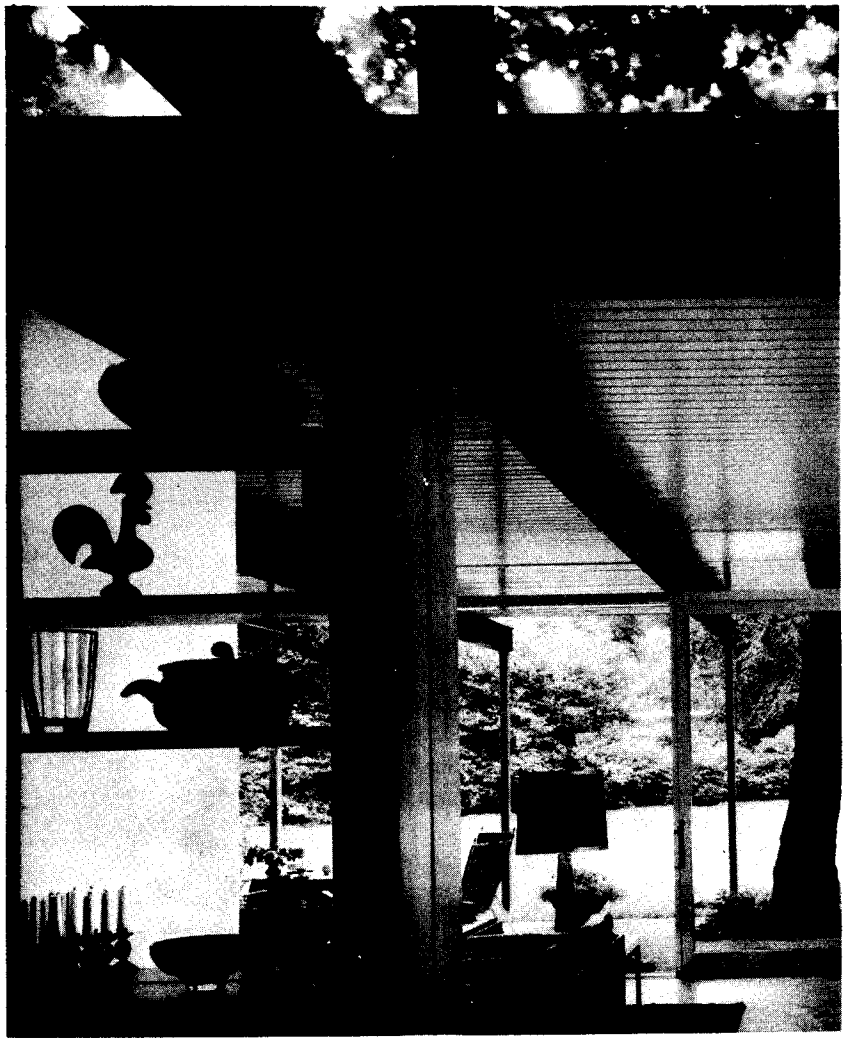
Umum

Kenikmatan (comfort) di dalam rumah datang dari keadaan dan pengaturan fisik rumah. Dapat juga itu datang dari penghayatan seseorang yang lebih menyentuh senar-senar jiwa manusia (psikologis). Kenikmatan psikologis Bugis tulen tidak pernah akan merasa nikmat berdiam di darat, biar ia disuruh tinggal di istana indah sekalipun. Baginya kediaman di dalam kapal layar di tengah bahaya dan hempasan samudera beserta segala keadaan yang sangat minimal jauh lebih nikmat daripada diam di rumah bagus mana pun di darat. Kenikmatan psikologis memang berbeda menurut kebudayaan dan alam citarasa masing-masing orang. Bahkan dari satu kelompok manusia pun sering citarasa dan selera yang menentukan nikmat tidaknya sesuatu rumah bisa sangat berselisih, umpamanya antara generasi tua dan muda. Sering juga antara suami dan isteri. Yang kita bicarakan di sini lebih banyak menyangkut segi kenikmatan fisik daripada psikologis. Dan selanjutnya bila kita bicara tentang kenikmatan atau comfort, yang dimaksud hanya kenikmatan fisik saja.

Peranan kondisi alam

Dari pasal-pasal yang lalu kita sudah bisa berkesimpulan, bahwa banyak masalah kenikmatan gedung atau rumah banyak bertalian dengan masalah-masalah dan sifat-sifat lingkungan kita. Itu benar, karena manusia pun adalah salah suatu perwujudan saja dari keseluruhan masyarakat mahluk planet bumi ini. Manusia memiliki sifat-sifat serta prasyarat-prasyarat kehidupan yang tidak sangat berbeda daripada kehidupan fisik dunia tumbuh-tumbuhan dan hewan.

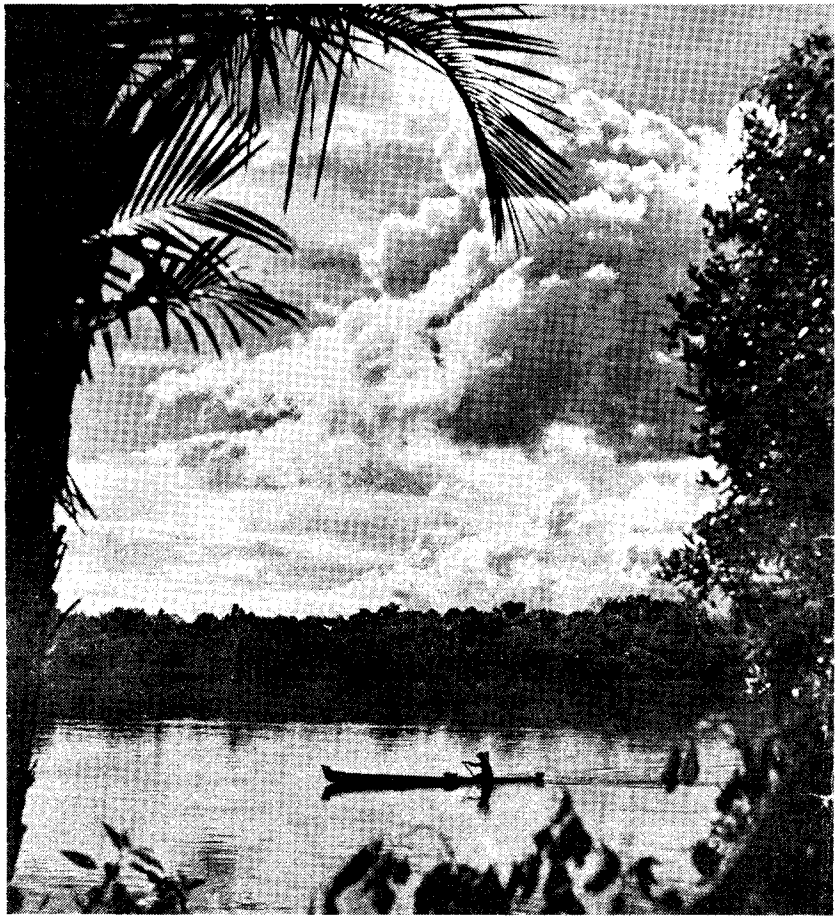
Juga dalam tubuh manusia berlaku hukum-hukum fisika dan kimia yang terdapat dalam flora-fauna serta dunia zat yang disebut benda mati. Dari segi fisik, biologis, manusia adalah salah satu anggauta biasa saja dari keluarga ekologis semesta bumi. Tentulah manusia lebih daripada hanya anggauta penghuni bumi yang ikut tenggelam belaka dalam segala proses dan gerak mahluk-mahluk bumi. Manusia dengan segala akal budi serta kemampuannya untuk mencipta dan bercinta adalah raja bumi. Warga raja, tetapi yang sekaligus warga biasa juga.



Maka permasalahan kenikmatan kediaman dan hidup dalam suatu bangunan erat dengan unsur-unsur yang sudah kita pelajari dalam pasal-pasal yang lalu. Di sini pengaruh-pengaruh alam tadi kita bicarakan lebih terperinci lagi, dengan pelengkap pertimbangan-pertimbangan lain yang langsung menyentuh persoalan kenikmatan fisik bangunan.

Ada lima lingkungan persoalan yang perlu kita perhatikan:

1. Soal *sengat dan silau sinar matahari* (pasal 5)
2. Soal *kalor dan suhu* (pasal 6)
3. Soal *kelembaban* dan *pergantian hawa-udara* (pasal 7)
4. Soal *gangguan bunyi* (pasal 8)
5. Soal *cahaya terang* (pasal 9)



Gambar No.41a Masalah utama Arsitektur di negara beriklim sedang dingin. *ialah: Bagaimana memasukkan sinar matahari yang sebanyak-banyaknya. Masalah utama arsitektur daerah tropika justru sebaliknya: Bagaimana kita memayungi diri atau menyaring sinar matahari yang berlebih-lebihan. Terutama yang terpantul sangat menyilaukan dari awan-awan kumulus tropika.*

5. SENGAT DAN SILAU MATAHARI

5.0 Umum

a. Gangguan matahari pertama datang dari silau cahayanya. Dan kedua, dari sengat sinarnya. (lihat gambar 41.a). Manusia butuh sinar cahaya dan cahaya penerangan sangat penting dalam penghayatan ruang dan bangunan. Tetapi bila sinar matahari terlalu banyak (dan di daerah tropik kita, jelas terlalu banyak) untuk ukuran kenikmatan manusia normal, maka sinar matahari terasa sebagai gangguan, menyengat mata dan kulit. Derajad kesengatan (yang sering menjadi sengit) dirasakan berlainan bagi manusia satu atau lain. Biasanya orang berkulit lebih gelap akan lebih terlindung kulitnya dari pembakaran kulit dan mata (mata adalah sebentuk kulit yang sangat peka terhadap cahaya). Itu berkat bintik-bintik mikroskopis kecil yang disebut pigmen. Kulit yang putih atau berwarna terang dan jarang pigmennya mirip kita bila tidak terlindung oleh pakaian. Pakaian orang di padang pasir, yang sengit sengatnya, serba putih (memantul kembali banyak sinar matahari) dan menutupi hampir seluruh tubuh, kecuali mata. Alasannya ialah melindungi kulit orang terhadap radiasi sinar matahari yang berlebihan, tajam dan berbahaya.

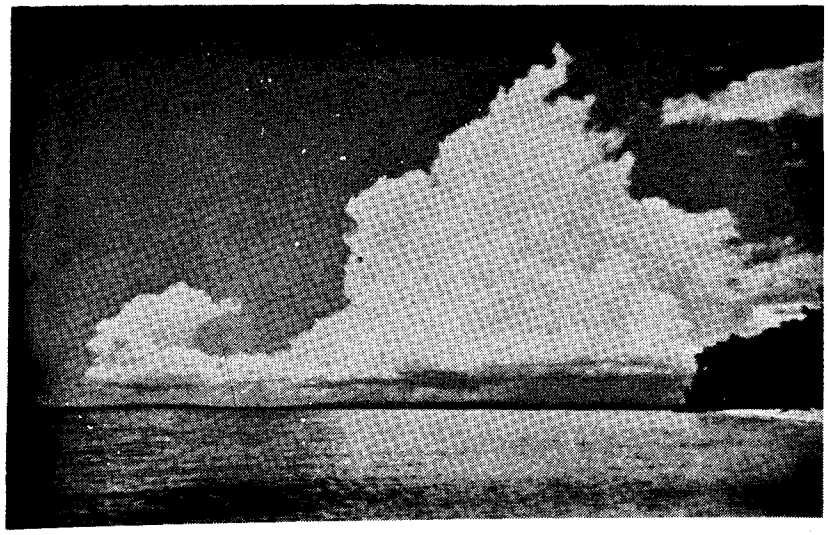
Demikian pun rumah kita, terutama unsur atap, antara lain berfungsi sama dengan pakaian: melindungi penghuni terhadap sengat dan silau sinar matahari.

b. Sinar matahari dapat langsung (sesudah difilter oleh stratosfir dan troposfir) menyinari rumah. Ada yang tidak langsung selaku pantulan dari bulan maupun awan-awan. Sinar pantulan bulan sangat menyedapkan dan memberi perasaan nikmat dan haru. Sinar pantulan awan-awan biasanya menyilaukan dan menyakitkan mata. Juga dindin-dinding, terutama bila dikapur putih, atap seng atau aluminium dan benda-benda lain yang tidak gelap sangat memantulkan sinar matahari dan menyilaukan.

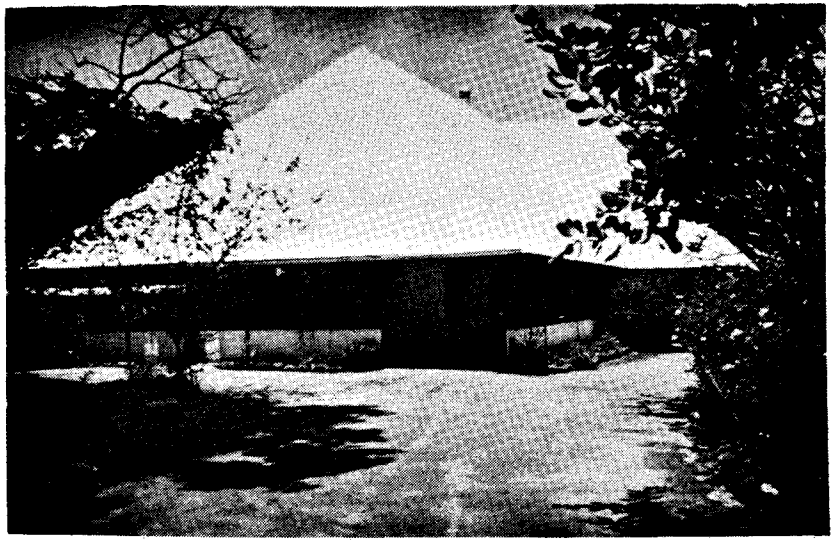
5.1 Perlindungan jenis perisai dan jenis penyaringan (filter)

Sinar-sinar itu dapat kita tanggulangi dengan:

a. prinsip *payung* atau *perisai* (prinsip pembayangan).
b. Dapat pula kita saring, kita perlembut oleh *saringan* (filter).



Gambar No.41b Awan-awan kumulus yang merupakan pemandangan khas alam tropika lembab merupakan reflektor cahaya matahari yang menyilaukan.



Gambar no. 41c Gambar atap alumunium yang sangat menyilaukan mata.

Maka kita mengenal pencapaian kenikmatan terhadap sengat dan silau matahari melalui bermacam-macam cara yang semuanya berinduk pada dua prinsip tadi:

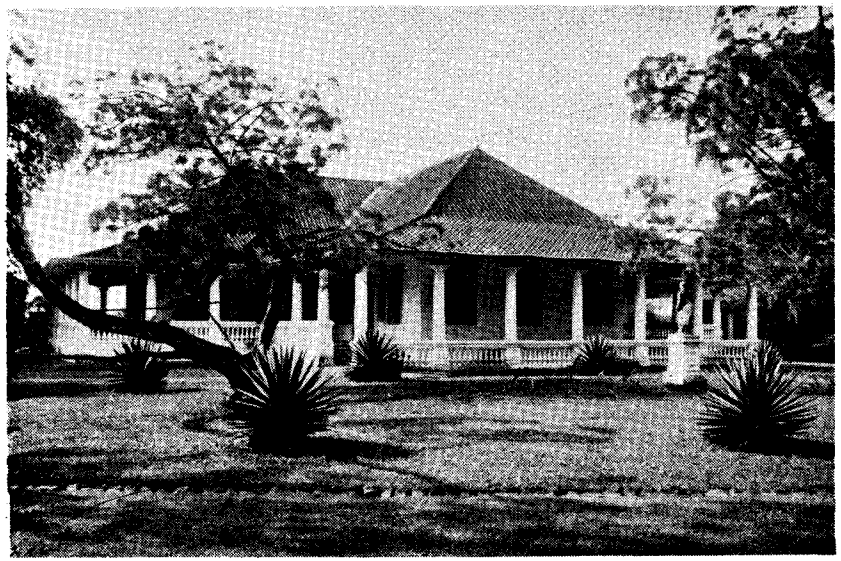
= *pembayangan*
= *penyaringan*

ad. 5.1.a

Yang tergolong pemayungan atau perisai ialah misalnya:
1) atap rapat (pada rumah, jerambah, galeri, doorloop, selasar dan sebagainya). *(Gambar no. 41.c, 43)*

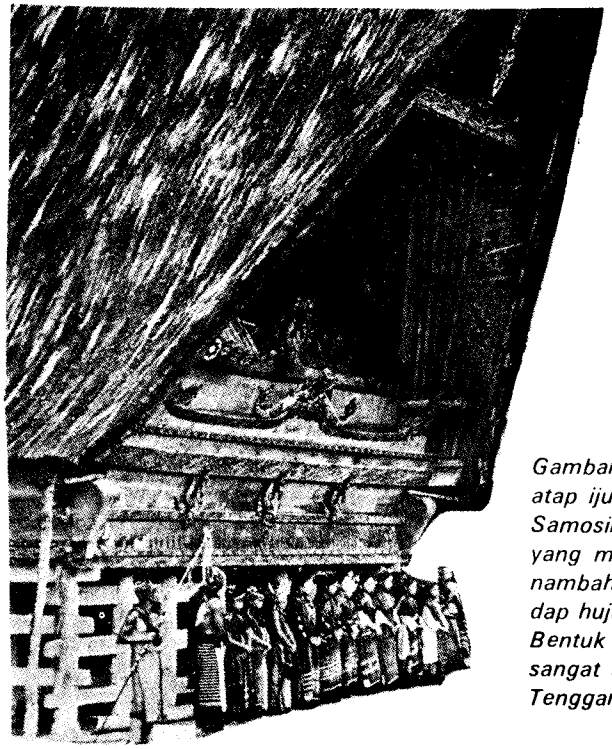
Gambar No.42

Kita sendiri memakai juga sistim "caping" atau topi "pet" untuk melindungi mata dari kesilauan angkasa (lihat gambar).

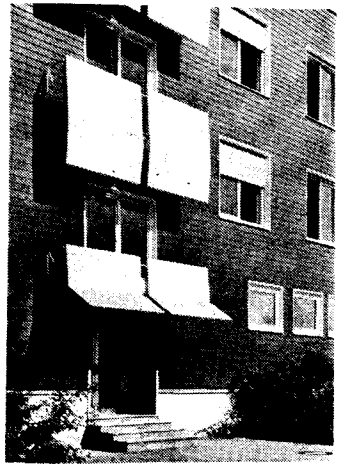


Gambar No.43a Arsitektur orang-orang Eropa di Indonesia banyak belajar dari Arsitektur pribumi, misalnya pemakaian beranda atau galeri yang sangat menjulang keluar terhadap dinding luar rumah (ingat sistim pendopo pendopo kita).

2) penjulangan atap pada cucuran (tritisan) gimbal atap, galeri, dan sebagainya *(Gambar 43a, b, c)*

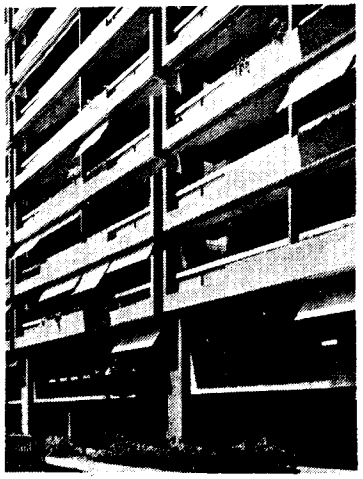


Gambar No. 43b. Penutup atap ijuk rumah di Ambarita, Samosir. Bentuk pucuk atap yang menonjol ke muka menambah perlindungan terhadap hujan dan silau matahari. Bentuk atap seperti ini adalah sangat umum di daerah Asia Tenggara dan Pasifik.



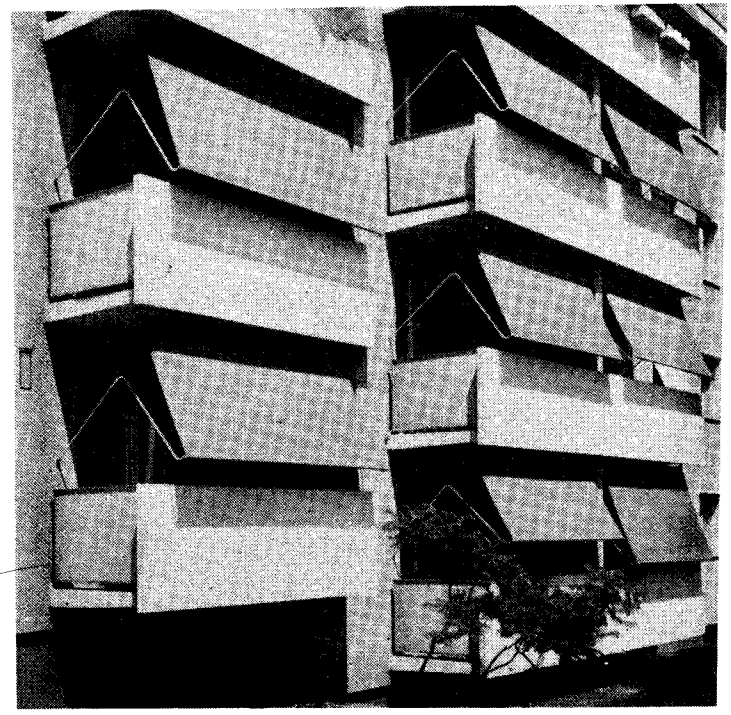
Gambar No.43c ***Contoh pelindung terhadap matahari. Efisien dan indah luwes. Dibuat dari beton dan dituang langsung dari balkon, sekaligus berfungsi sebagai pagar (balustrade) balkon. Perhatikan juga krepyak/kisi-kisi pada jendela yang*** *dipasang di luar* ***daun jendela kaca, dan yang dapat disetel tinggi rendahnya secara tepat.***

3) markis, kerai, tenda jendela, jerambah dan sebagainya *(Gambar 44a, b).*

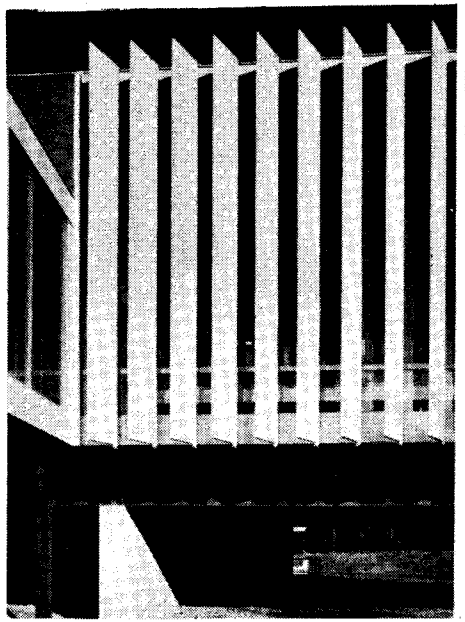


Gambar No.44a Layar-layar markis terbuat dari kanvas atau bahan sintetis. Ringan, murah dan bisa disetel juga menurut kehendak penghuni.

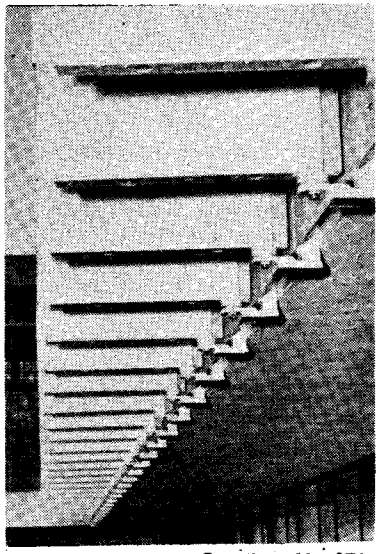
Gambar no. 44b



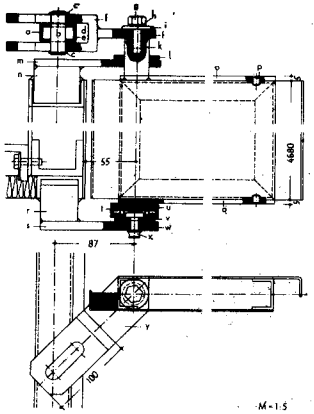
4) penanaman prieel (bougainville, tanaman rambatan lain, sekaligus hiasan).
5) papan atau bidang yang dapat disetel pada poros vertikal. Ini penjulangan juga pada dasarnya, tetapi dalam kedudukan vertikal. *(Gambar 45 a, b, c, d).*
6) penggunaan jendela-jendela rapat (blinden) dan sebagainya. *(Gambar 50 51; 52 dan sebagainya). Dinding perisai rapat, dan sebagainya.*



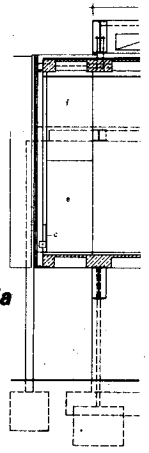
Gambar No. 45a



Gambar No.45b



Gambar No.45 Konstruksi Kulis, semacam jalusi, dengan anak jalusi sangat lebar yang dipasang berporos vertikal dan dapat disetel sudut kedudukannya.



Gambar No. 45d Pemasangan pada front gedung.

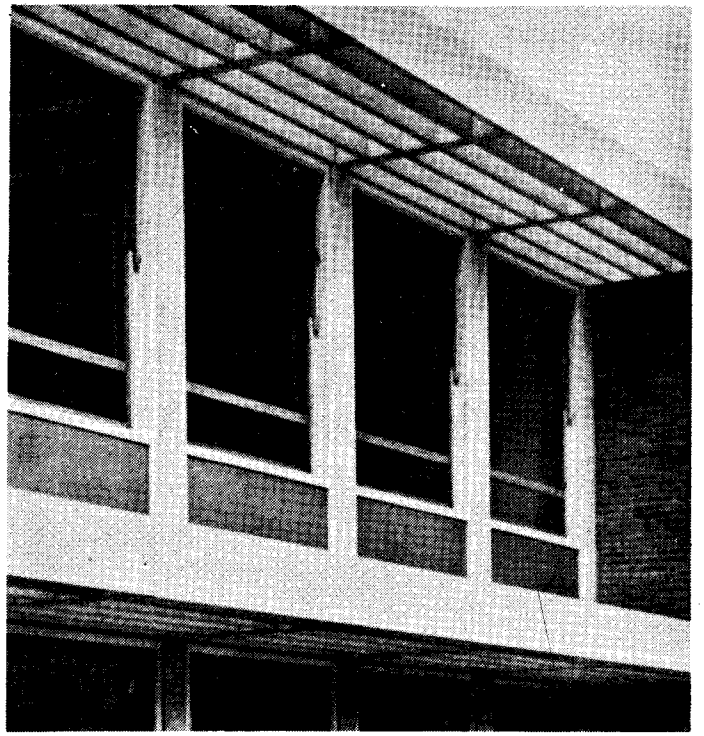
Gambar No.45c Konstruksi: potongan horisontal.

ad 5.1.b

Yang tergolong penyaringan cahaya (filter) adalah antara lain: *(Lihat Gambar 46-53).*

1) kerai
2) krepyak (louver jalousie) (lihat Gambar 50, 51, 52).
3) kisi-kisi *(lihat gambar 47, 48)*
4) kerawang (rooster) *(lihat Gambar 53 a, b).*
5) dedaunan tanaman, pergola *(lihat Gambar 49).*
6) dinding tabir berselah papan-papan horisontal (horizontal overhangs) *(lihat Gambar 46).*

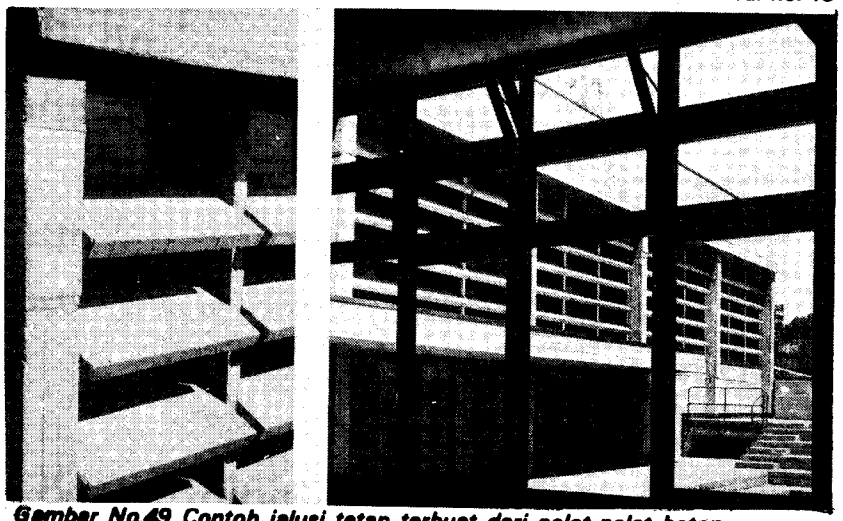
Masih tergolong dalam prinsip filter, tetapi dalam pengetrapan prinsip "penyaringan karena peresapan cahaya pantulan" adalah: penanaman rumput pada halaman, kolam. *(Gambar no. 54, 55).*



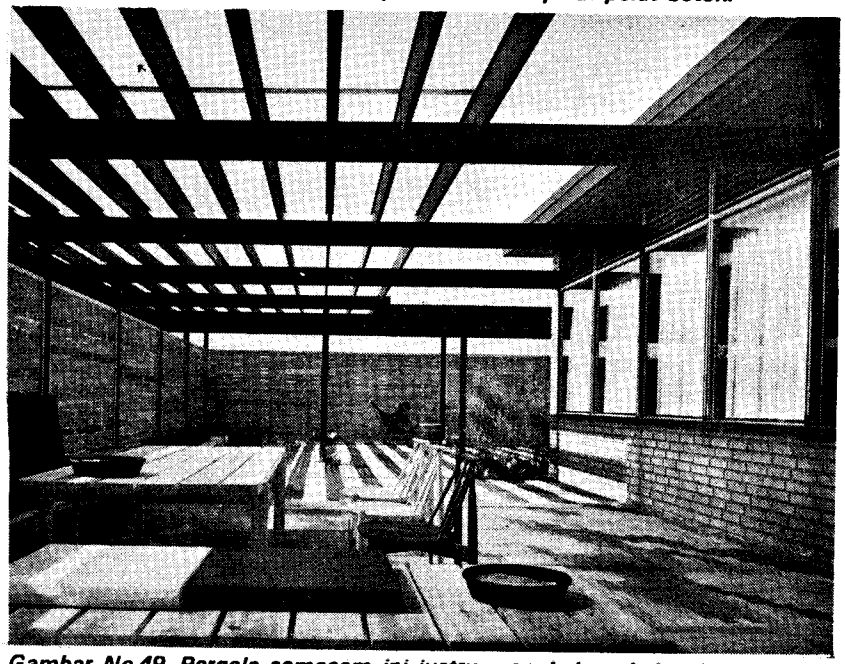
Gambar No. 46 Tritisan bolong (horizontal overhangs) untuk situasi khusus, misalnya untuk meja laboratorium yang membutuhkan sinar matahari dari atas, tanpa gangguan silau dari awan-awan.

Gambar no. 47

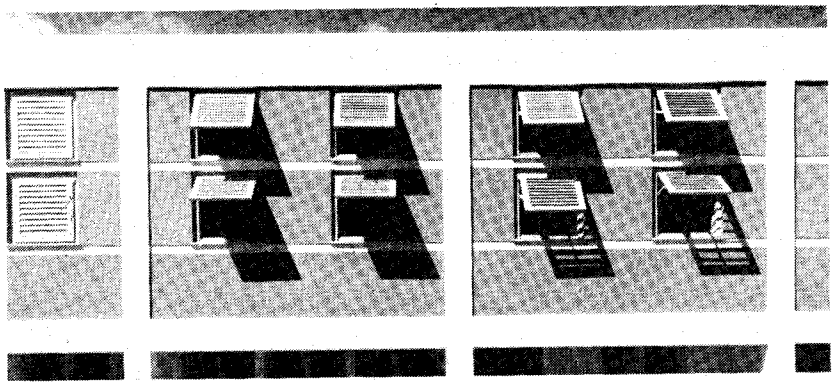
Gambar no. 48



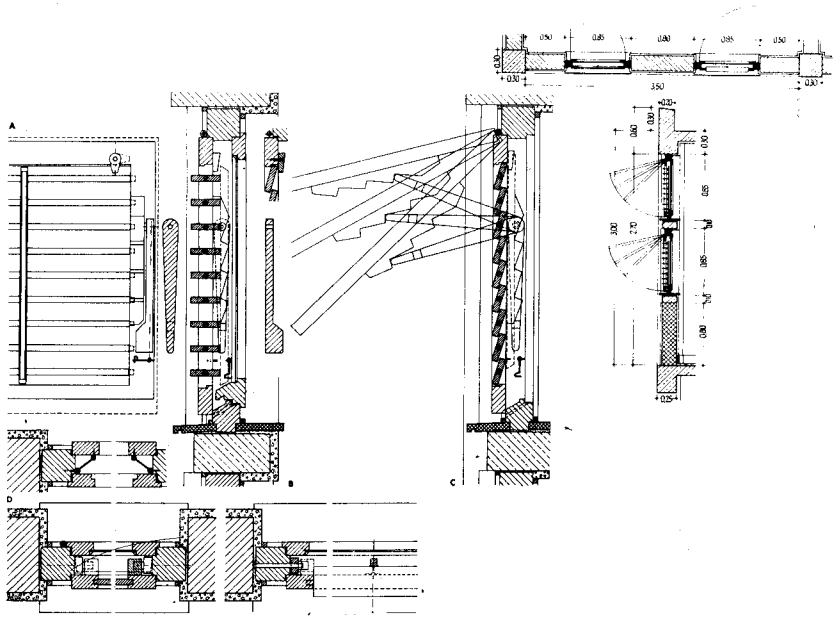
Gambar No.49 Contoh jalusi tetap terbuat dari pelat-pelat beton.



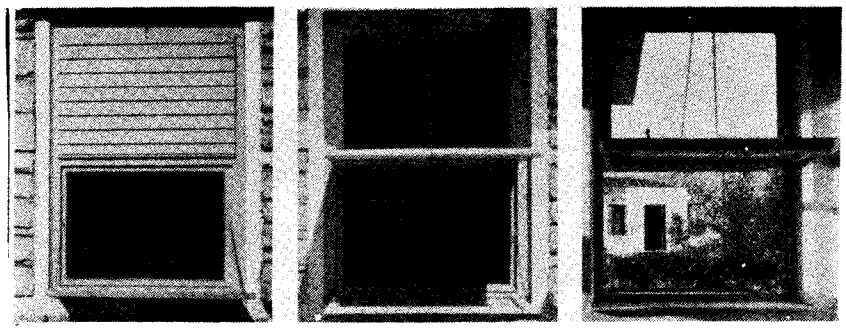
Gambar No.49 Pergola semacam ini justru menghalang-halangi sinar matahari rendah dan meneruskan sinar pada saat matahari di titik tinggi. Untuk daerah tropika seumumnya tidak begitu praktis.



Gambar No.50a Daun jendela dengan pemutaran horisontal dalam keadaan terbuka berfungsi sebagai pelindung terhadap kesilauan angkasa.

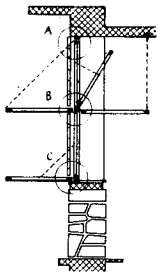


Gambar No.50b Konstruksi jendela perumahan murah dari Kreta. Arsitek: Aris Konstantinidis (Atena).

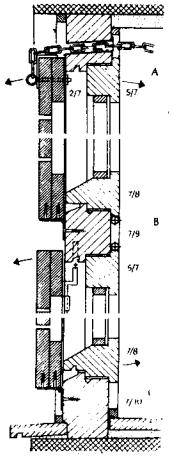


Gambar No.51a

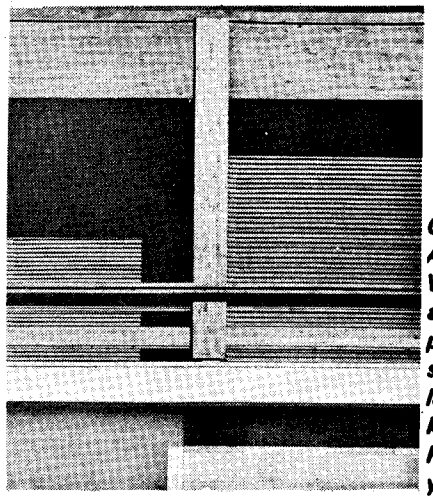
Teladan bagus suatu jendela berkisi-kisi dari Yunani. Konstruksi ini memungkinkan penahanan silau matahari, akan tetapi tanpa mengurangi pemasukan cahaya siang hari berkat pemantulan sinar pada permukaan atas daun jendela.



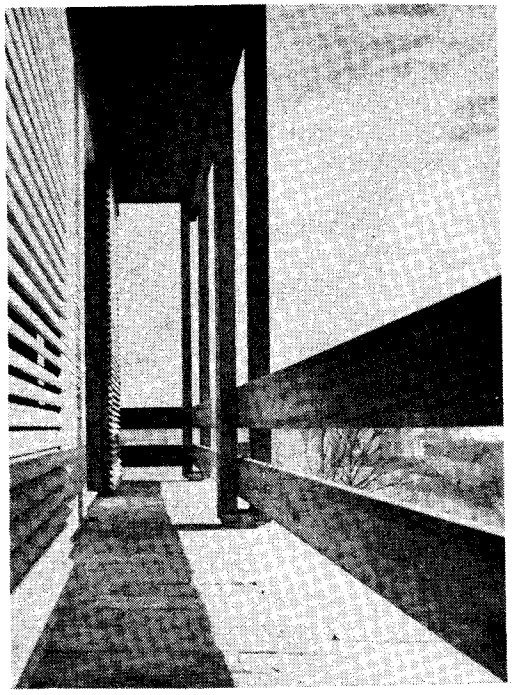
Gambar No.51b



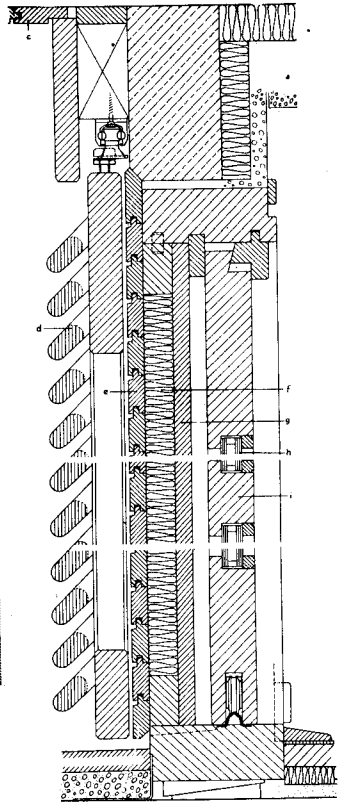
Gambar No.51c



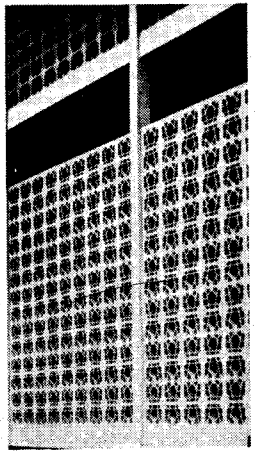
***Gambar No.52a** Contoh indah dari Austria (Arsitek: Ernst Hiesmayer Wiena): dinding-dinding slorog pengaman yang kuat dan menyaring seperti filter cahaya matahari. Konstruksi dari kayu melulu, dalam bentuk kayu lapis majemuk. Contoh bagaimana kayu sama sekali bukan bahan usang. Perhatikan detail dan penggarapannya yang sederhana agung.*

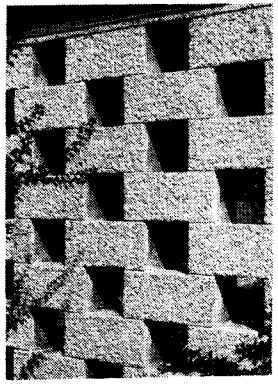


Gambar No.52b



Gambar No.52c





***Gambar No.53b** Contoh filtrasi melalui dinding tebal berlubang.*

***Gambar No.53a** Hasil penyaringan (filtrasi) sinar matahari dengan sarana dinding-dinding krawang.*

5.2 **Saran-saran praktis**

a. Pemayungan atau penyaringan sinar matahari selain bermaksud mengurangi atau memperlunak sengat dan silau, sekaligus juga mengurangi penyinaran kalor yang terpantul dari benda atau bidang-bidang halaman. Pada atap, cahaya yang datang sebagian besar atau seluruhnya ditolak (lihat selanjutnya pada pasal 11). Oleh krepyak, kisi-kisi, kerawang, kere dan sebagainya hanya sebagian kecil saja sinar diijinkan masuk. Sedangkan pada penanaman rumput, tanam-tanaman atau bidang kolam, sebagian besar sinar matahari, baik yang sengat, silau maupun sinar panas diisap dan hanya sebagian diteruskan dalam jumlah warna yang diinginkan. Penerusan itu pun sudah mengalami suatu pembelokan, atau penekukan (defleksi) sehingga pemantulan (refleksi) sudah sangat berkurang kekuatannya bersinar.

b. Dari segala yang disebut tadi tampak, bahwa baik dalam cara pemayungan maupun penyaringan sinar, bahan "payung" dan filter tadi harus kita pilih yang tepat. Artinya yang tidak mudah menjadi penolong bagi sinar matahari untuk masuk rumah, atau bahkan menjadi sumber panas sendiri sesudah ia terkena sinar matahari. Untuk itu harus selalu dilihat kedudukan benda-benda tadi terhadap sebuah rumah. Dinding halaman atau tanah halaman itu sendiri atau rumah orang lain adalah benda di luar rumah. Jadi terhadap rumah ia akan berfungsi sebagai kemungkinan sumber panas baru, sesudah ia terkena sinar matahari. Tetapi atap, dinding rumah kita, kisi-kisi, daun jendela dan sebagainya adalah benda-benda pada rumah kita, jadi bukan di luar. Mereka berfungsi bagaikan kulit rumah.

c. Maka dari segi usaha membuat perisai atau filter terhadap pemasukan sinar matahari, sebaiknya diikhtiarkan, agar benda-benda di luar rumah bersifat menyerap sebanyak mungkin sinar, atau dengan kata lain, jangan menyilaukan (silau artinya: banyak sinar terpantul keluar lagi) dan jangan yang mudah menjadi semacam kompor panas. Oleh karena itu dinding tetangga yang putih-silau atau pelat-pelat beton di halaman dekat rumah, tritisan aspal dan pagar seng mengkilat dan sebagainya, kurang menguntungkan bagi penghuni dalam rumah. Sebaliknya kulit-kulit rumah, daun jendela, jalusi dan sebagainya (yakni yang punya daya pantul-kembali sinar-sinar yang datang dari luar) krepyak dari aluminium, atau asbes semen putih atau plastik mengkilat dan berwarna putih memanglah baik, dilihat dari segi fungsi perisai tadi. Tetapi kurang menguntungkan untuk tetangga dan orang luar. Tentulah dalam praktek nanti, kebijaksanaanlah yang harus memutuskan, bahan apa yang dipilih untuk daun jendela, atap dan sebagainya. Sebab, walaupun secara teoretis "kulit" rumah sebaiknya harus berdaya pantul besar, akan tetapi atap

aluminium umpamanya, yang sangat mengkilat, sungguh mengganggu mata orang lalu. Bahkan untuk penghuni sendiri akan silau bila ia sedang duduk-duduk di taman. Begitu silauan itu akan menjadi "senjata makan tuan." Maka harus dipertimbangkan oleh rasa sosial kita terhadap tetangga, apakah penyilauan yang menguntungkan penghuni di dalam rumah, akan terlalu merugikan sesama kawan yang ada di luar rumah.

Gambar No. 54 Pohon dan dedaunan membentuk bantalan hawa udara sejuk (dan segar karena berkadar O2 banyak) di bawah bayangannya, yang menolong perputaran hawa sehat diperkampungan.

d. Pohon-pohon rindang adalah unsur sangat penting, vital dan indah juga dari setiap arsitektur tropik. Yang dihindarkan hanyalah penanaman pohon besar terlalu dekat dengan bangunan. Selain dapat merusak pondasi yang disebabkan oleh akar-akar pohon itu, penanaman terlalu dekat menghasilkan sampah banyak dalam talang-talang atau atap rumah. Selain itu, dapat pula terlalu lembab nantinya dalam rumah pada musim hujan. Tetapi pohon-pohon yang tidak terlalu dekat dengan rumah benar-benar merupakan unsur-unsur penyulap yang menakjubkan dan yang mampu untuk membuat seluruh arsitektur dan suasana kediaman menjadi nyaman, membuat kerasan dan agung. *(Gambar 69)* (lihat selanjutnya: pasal 19). Kita harus selalu ingat, bahwa manusia tropika dan terutama anak-anak kita, tidak seperti mereka di daerah-daerah beriklim sedang atau

dingin. Kita lebih banyak menghayati kehidupan di luar daripada di dalam gedung. Bahkan dalam konsepsi arsitektur Indonesia asli, terutama di Jawa dan Bali, pengertian rumah bukanlah pertama-tama gedung rumah, melainkan halaman. Dan rumah adalah bagian halaman yang dipayungi.

e. Tembok dinding di luar rumah sebaiknya diberi warna muda atau agak gelap. Warna kapur putih sangat menyilaukan dan sebenarnya kurang baik untuk iklim yang lembab. Sangat bagus ialah penyelesaian soal dinding dengan penanaman tumbuh-tumbuhan rambatan halus yang dapat merayap dan menempel pada dinding luar (pagar atau dinding tetangga). Demikianlah dedaunan rambatan itu sekaligus merupakan cat tembok alam yang bagus, menyejukkan dan menyedot kelembahan yang tersimpan di dalam dinding. Tentulah harus dipilih jenis tanaman rambat yang tidak kejam akar-akarnya terhadap tembok. Lebih indah lagi bila tanaman itu berbunga banyak. Bila akar tanaman masih merusak tembok, maka sebaiknya tanaman itu disuruh merambat pada jaring-jaring tali, kawat atau bahan lain. Demikianlah dinding tetap bersih, berkurang kesilauannya dan indah.

Gambar No. 57a. Hijau rumput dan tanam-tanaman halaman bukan hanya hiasan melulu, melainkan sangat menyerap panas dan kesilauan sinar matahari.

f. Tanah halaman dan jalan-jalan taman dekat rumah merupakan bidang penerima sinar banyak. Oleh karena itu jangan terlalu banyak memakai pelat-pelat beton atau batu penutup yang mudah menjadi panas dan memancarkan panas ke dalam rumah. Rumput atau tanah biasa lebih menyejukkan. Terutama penguapan rumput sangat menurunkan suhu di atas tanah keliling rumah. *(Gambar 55 a, b).*

Gambar No. 55b. Semakin banyak batu di halaman semakin panas juga halaman.

Suatu cara yang bagus juga ialah pemasangan kerawang-kerawang sebagai pengeras di tanah. Lubang-lubang di dalam batu kerawang ditanami rumput halus. Demikian tanah tetap sejuk (pada kerawang lebih banyak lubang daripada beton) dan rumput bisa bertahan, biar diinjak-injak atau dilalui kendaraan, karena akar-akarnya tidak terkena.

g. Perlu diingat, bahwa jendela atau pintu-pintu lebar berkaca memang berkesan modern dan bagus, tetapi sering kurang tepat. Panas dan radiasi kesilauan terlalu banyak yang masuk. Kecuali bila halaman memang sudah terteduh oleh pohon-pohon besar. Kaca-kaca lebar pada arsitektur iklim dingin memang sangat tepat, karena di sana sinar matahari cukup mahal dan hari-hari banyak berkabut dan kelabu. Kaca-kaca lebar bisa baik, bila menghadap taman yang teduh atau terlindung oleh atap-atap lebar dari galeri atau jerambah. Sinar matahari yang datang secara global terdiri dari 48% cahaya, 46% merah infra dan 6% violet ultra. Dari jumlah tersebut 80% menembus kaca. Kira-kira 12% diresap oleh bahan kaca itu sendiri dan kira-kira 8% dipantul kembali oleh permukaan luar kaca. Dari sinar yang 80% masuk itu, sebagian jatuh pada dinding, lantai, perabot rumah dan sebagainya. Sebagian terbesar diresap menjadi panas dan sebagian lainnya dipantulkan kembali secara terbaur (difus). Dari sebagian kecil yang terpantul difus ini, ada yang kembali pada kaca dan 75-80% keluar ruangan. Dari sebab itu sebagian terbesar dari sinar matahari yang masuk berubah menjadi panas. Begitulah ruangan dipanasi tak langsung oleh matahari (karena udara tidak meresap sinar) tetapi oleh radiasi dan konveksi dari bidang-bidang benda yang terkena matahari.

5.3 Gejala perangkap geothermis dan optis

a *Gejala perangkap geothermis*

Oleh sekian banyak pemantulan di dalam ruangan, sinar matahari masuk dan diresap sangat dalam oleh benda-benda di dalam ruangan. Hanya sebagian kecil saja sampai kembali pada kaca. Sinar diresap oleh ruangan dan memanasi ruangan.

b *Gejala perangkap optis*

Sinar yang kembali pada kaca ternyata sudah menjadi sinar bergelombang panjang dan karena itu hampir semua diresap oleh kaca tadi (dari sebab itu dibutuhkan jalusi, louveres dan sebagainya) (lihat pasal 1,6; 5).

Dari sebab itu kaca itu sendiri menyerap panas juga (kaca adalah semacam batu juga dan menjadi bidang sumber panas).

Dan bila kaca hanya sebagian saja yang terlindung bayangan, sedangkan bagian lain menjadi semakin panas, kaca mudah pecah. Masa sekarang banyak dipakai kaca Riben dan macam kaca lain yang banyak menyerap sinar-sinar infra merah dan memantulkan kembali sinar dari luar, sehingga dalam ruang terasa sejuk. Jelaslah kaca-kaca khusus itu adalah mahal.

Karena sifat-sifatnya, kaca bukan bahan bagus untuk ruangan-ruangan yang pada masa kini sering diberi pasangan air-conditioning. Terlalu banyak panas dari luar bisa masuk.

5.4 Perhitungan pertolongan pencegahan radiasi

a *Perhitungan pertolongan* pencegahan radiasi ini sebagai tambahan dapat kita gunakan. Efisensi kaca dan sebagainya tidak mudah dihitung secara eksak, karena di sini banyak sekali perkara ikut berpengaruh, antara lain hembusan angin, ventilasi dan sebagainya. Tetapi rumus ini dapat dipakai sebagai ancar-ancar.

$$S = (1 - \frac{\Delta t}{\Delta t_o}) \times 100\%$$

S adalah angka nilai (dihitung dengan %) yang menunjuk pada derajad perlindungan terhadap penyinaran matahari.
Δt = pertambahan suhu dengan kasa atau bidang pelindung.
Δt_o = pertambahan suhu tanpa kasa atau bidang pelindung.

Dari perhitungan itu orang mencatat:

b *Jumlah radiasi panas yang dapat dicegah masuk ke dalam kamar*

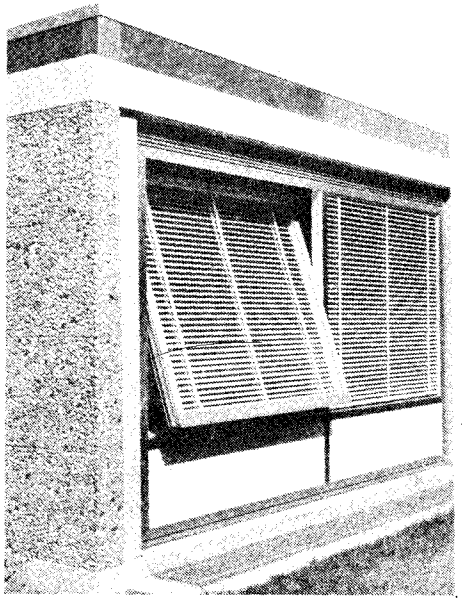
oleh bahan:	%
jalusi atau rolade di luar jendela	*90-100*
jalusi di sisi dalam (di bagian atas jendela, sedangkan di bawah diberi lubang ventilasi (gejala cerobong)	*80*
jalusi alluminium di sisi dalam	*30*
lamel-lamel yang berputar pada poros vertikal (di luar jendela)	*80-90*
kaca spesial penyerap kalor (diberi banyak ventilasi)	*50-70*
markis atau (dengan angin sepoi-sepoi)	*79*
markis atau (dengan angin keras)	*88*
markis atau (dengan lobang ventilasi di atas, angin sepoi-sepoi	*85*
tabir kain, tergantung dan menyebabkan selalu adanya udara di antara jendela dan tabir	*47*
tabir kain, tergantung lepas	*32*
tabir rata, 10 cm di muka kaca	*90*

Catatan: Ada konstruksi jendela kaca yang berjalusi istimewa dapat berputar 180°. Pada angin kencang jendela terputar dan jalusi-jalusi lalu ada di sisi dalam. Pada angin lemah, jalusi-jalusi ada di sisi luar.

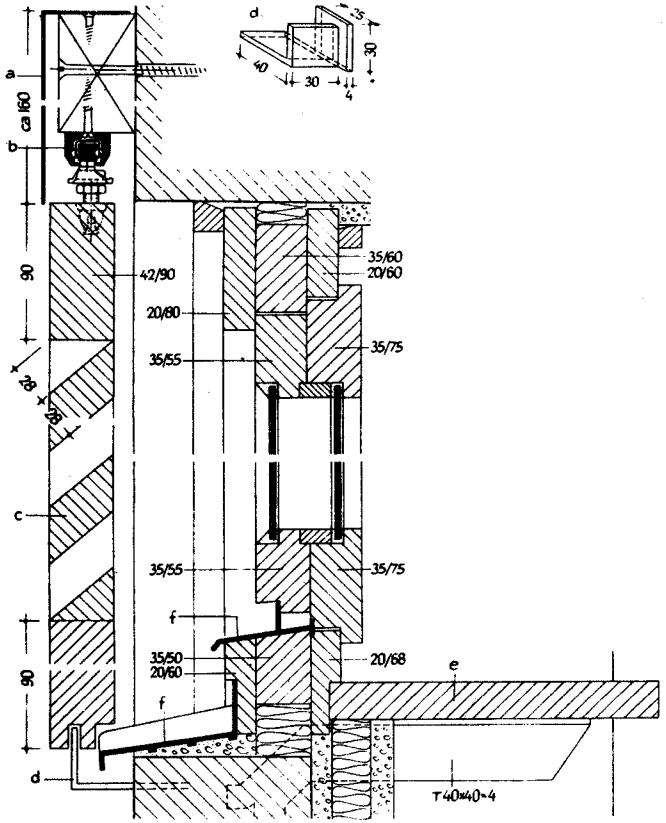
5.5 Kisi-kisi dan lain-lain

a Suatu sistim yang sangat bagus dan sudah berabad-abad membuktikan gunanya ialah kisi-kisi, jalusi, kerai, louvres, krepyak dan semacam itu. Prinsip krepyak, louvres dan sebagainya sebenarnya ialah prinsip kerai. Melalui alat-alat itu, sinar matahari yang masuk diperkurang kwantitas dan kwalitasnya. Disaring dalam arti kwantitas dan kwalitas juga. Krepyak atau kisi-kisi bisa berkedudukan mendatar ataupun vertikal. Kedua-duanya punya alasan yang berharga. Tergantung sinar yang mana dan yang bagaimana boleh masuk ruangan atau tidak.

b Satu hal yang harus ditaati ialah, penempatan alat-alat tersebut harus *di luar* jendela (kaca) *jangan di dalam,* seperti kerap kali kita lihat. Pemasangan di dalam akan menimbulkan radiasi pada jalusi yang juga akan menjadi sumber yang panas. Pemanasan jalusi disertai pemanasan udara yang terkurung antara kaca dan jalusi. Demikian proses konveksi ikut timbul, sehingga udara di antara kaca dan jendela dan jalusi menjadi tinggi. *(Gambar no. 56, 57, 58).* Maka konveksi di situ sangat membantu juga meningkatkan suhu, yang menyebarluaskan diri selaku konveksi seluruh keadaan suhu di dalam ruangan. Lebih merusak lagi ialah, bila kita membuat daun jendela dengan kaca dobel yang mengurung rapat hawa udara. Hawa di antara kedua lembar kaca akan terpanasi dan tidak bisa keluar karena tertutup rapat. Ia tetap akan mengembang dan dapat memecahkan seluruh kaca.

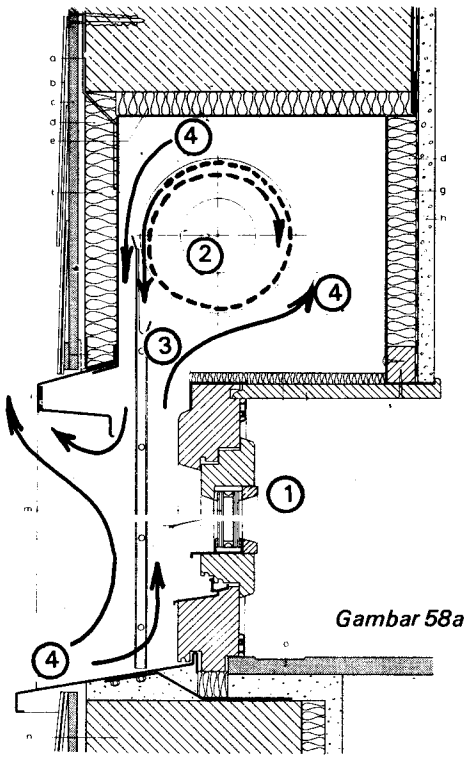


Gambar No. 56 Contoh pemasangan jalusi secara keliru, yakni di sebelah dalam bidang kaca, Udara diantara jalusi dan kaca menjadi panas dan mengalir dalam ruangan terus-menerus.

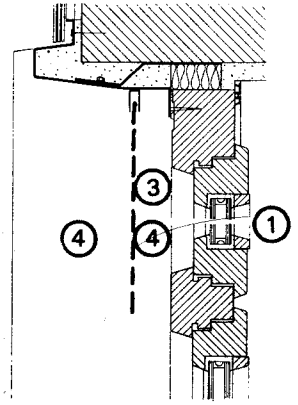


Gambar No. 57
Contoh pemasangan jalusi-jalusi yang betul: di luar jendela kaca.

Hindarkanlah konstruksi-konstruksi yang memudahkan proses semacam itu. Dari sebab itu jalusi, krepyak, louvres, horisontal overhangs, dan sebagainya harus dipasang *di luar* jendela. Karena lalu akan terwujudlah suatu saluran mirip cerobong asap dan timbullah secara alamiah di situ gerak konveksi ke atas. Demikian jalusi selalu juga menyerahkan panas yang ada padanya kepada hawa udara yang naik dari bawah yang dingin, ke atas yang panas.

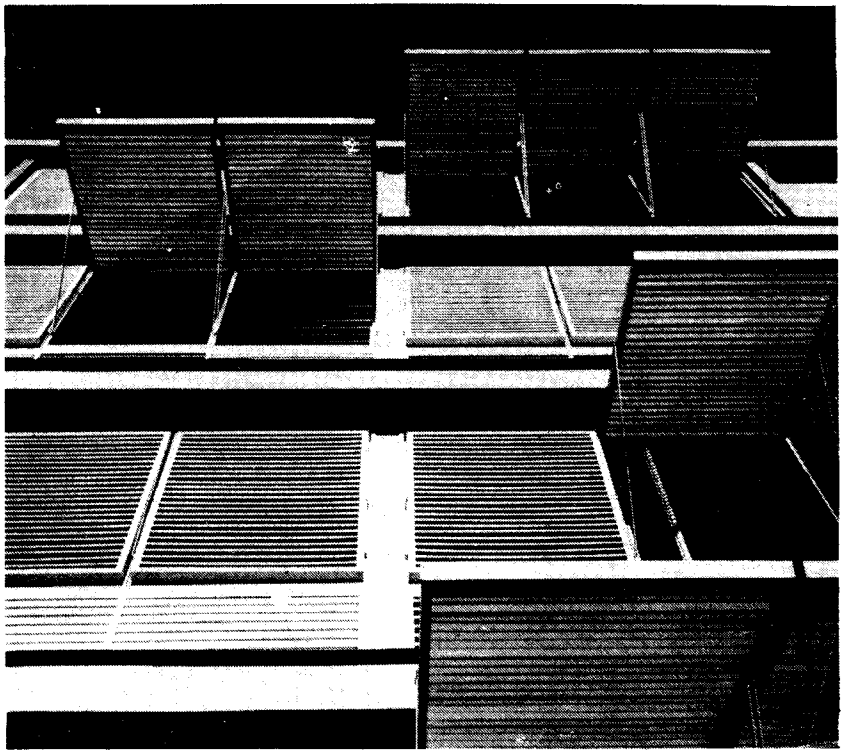


Gambar 58a



Gambar 58b

1. *daun jendela*
2. *penggulung kisi-kisi/jalusi/kere*
3. *rel pengatur kisi-kisi diluar daun jendela*
4. *arus hawa panas tetap diluar daun jendela*



Gambar no. 59a. Contoh konstruksi dan disain yang bagus, efisien dan sederhana dari bentuk jendela di bawah tropika lembab. (di Caracas, Amerika Selatan). Arsitek: Vegas & Galia.

6. KALOR DAN SUHU

6.0 Umum

Rambatan kalor melalui tiga jalan/cara:
melalui *hantaran*
melalui *konveksi*
melalui *pancaran (radiasi)*

6.1 Jalan hantaran

Kalor dari benda satu ke benda yang lain dapat menjalar karena sentuhan. Molekul-molekul benda yang dingin ikut menjadi panas karena dihimpitkan dengan suatu benda sumber panas. Ini terjadi pada benda padat. Benda padat selalu berpori dan dalam pori-pori itu hawa ikut juga menjadi panas serta ikut menghantarkan panas. Misalnya tembaga, aluminium, besi dan semua logam sangat mudah dan cepat menghantar panas. Batu juga mudah ditulari panas. Zat-zat itu bahan penghantar panas yang baik. Tetapi kayu, asbes, gabus dan semua bahan yang sulit ikut menjadi panas meskipun dihimpitkan pada benda panas lain, lazim disebut isolator dan pada umumnya berpori besar dan banyak. Jalan penghantar kalor biasanya kita katakan tentang bahan-bahan berzat padat.

6.2 Jalan Konveksi

a. Kalor dapat juga disebarluaskan melalui arus yang bergerak dalam zat cair atau gas. Zat cair atau gas yang sudah dipanaskan *membawa-serta* (konveksi) panas yang mereka miliki. Jadi berlainan dari jalan hantaran karena sentuhan belaka, di mana molekul-molekul hanya statis diam saja, molekul-molekul dalam konveksi bergerak. Dan karena gerakan itu zat cair atau gas lebih lekas menjadi panas daripada zat padat yang tidak mengenal konveksi molekul-molekul. Itulah prinsip pendidihan air dalam ketel yang lekas mendidih, karena air dalam ketel benar-benar mengalir.

b. Jadi dalam zat padat hanya ada penularan panas sedangkan pada zat cair atau gas biasanya ada penularan ditambah konveksi. Tetapi bisa terjadi dalam sesuatu zat cair hanya terdapat penularan panas tanpa konveksi. Itu terjadi bila kita memanasi tabung berisi air di ujung atas.

6.3 **Jalan radiasi**

a. Jalan radiasi ditempuh apabila *energi kalori* (panas) benda berubah menjadi *energi sinar* (radiasi) dan menyinar pada benda lain yang dingin. Segera sesudah energi radiasi menyentuh benda dingin tersebut ia berubah kembali menjadi energi kalori. Kita kenal kenikmatan yang terasa di pagi hari cerah, terlebih di pegunungan dingin, kapan kita berpanas-panas terkena sinar matahari. Sinar matahari sampai di bumi melalui hampa udara. Jadi jelas tidak dengan jalan penularan atau konveksi, tetapi dengan radiasi, penyinaran langsung. Bila kita berapi unggun dan di antara api dan tubuh kita pasang suatu bidang kertas lebar, maka terasa ada bayangan dingin sebagai akibat penahanan radiasi kalor api oleh kertas itu.

b. Fungsi payung atau topi sebenarnya memang dimaksud untuk menimbulkan bayangan dingin radiasi panas matahari yang menyengat pada kepala. Di bawah atap seng tanpa langit-langit di siang hari kita merasa tidak enak juga tersengat kepala, meskipun kita sudah ada dalam bayangan matahari. Seng yang menjadi panas oleh sinar matahari sudah menjadi sumber panas juga yang memancarkan kalor ke bawah. Maka sebagai perisai kita pasang langit-langit (plafond). Tetapi jika langit-langit terbuat dari bahan-bahan yang mudah menerima dan memancarkan lagi panas, maka langit-langit itu tidak berfungsi sebagai payung atau perisai kalor, karena begitu langit-langit meneruskan radiasi juga, menerima giliran menjadi sumber panas.

Dalam kenyataan, rambatan kalor selalu merupakan perpaduan antara pancaran dengan hantaran. Sering, disertai juga dengan konveksi.

6.4 **Perambatan kalor**

a. Radiasi matahari yang jatuh pada suatu benda dipantulkan kembali dan sebagian diserap. Panas yang diserap sebagian terhimpun dalam bahan itu bagaikan dalam gudang dan sebagian diteruskan ke luar, ke sisi yang dingin.

Tabel I: koefisien Serapan Kalor

(dihitung dalam %) yang disebabkan oleh pengaruh warna:

Permukaan	%
Dikapur putih baru	10-15
Dicat minyak baru	20-30
Marmer/pualam putih	40-50
Kelabu madya	60-70
Batu bata, beton	70-75
Hitam mengkilat	80-85
Hitam kasar	90-95

Sebagai pembanding haraplah juga melihat daftar berikut ini, yang memperlihatkan *berapa % dari kalor matahari yang diteruskan* ke pihak sebelah lain dari bidang kaca (sudut penyinaran 45° terhadap garis normal).

TABEL II

Jenis kaca	Transmisi langsung %	berasal dari radiasi yang terserap %	Total %
Kaca bening istimewa	74	9	83
Kaca jendela biasa	85	3	88
Kaca speksial penyerap panas	20	25	45
Kaca kelabu	30	30	60
Kaca berlapisan lak	38	17	55

TABEL III

Radiasi Matahari dan Serapan Kalor (dihitung dengan %)

permukaan bahan	%
Asbes semen baru	42-59
asbes semen sangat kotor (6 tahun terpakai)	83
kulit bitumen/aspal	86
kulit bitumen bila dicat aluminium	40
genting keramik merah	62-66
seng (baru)64	
seng (kotor sekali)	92
selulose cat putih	18
selulose cat hijau tua	88
selulose cat merah tua	57
selulose cat hitam	94
selulose cat kelabu hitam	90

TABEL IV

Pengurangan serapan kalor yang berasal dari radiasi matahari, bila permukaan dicat putih

Pukul siang hari	suhu pelat-pelat seng pelat biasa (°F)	bila dicat putih (°F)	selisih suhu (°F)
2.40	127	106	21
2.45	134	108,5	25,5
3.50	128	106,5	21,5
4.30	114	99	15
5.25	102,5	93,5	9
6.10	89	86,5	2,5
6.35	85	84,5	0,5

Pengukuran di atas dilakukan di Lagos, Nigeria (1945). Ketika itu hari panas dan lembab dan angka-angka menunjukkan keuntungan cukup besar dari pengecatan putih permukaan atap dan yang sangat ternyata menghasilkan komfort yang sangat bagus.

TABEL V

Hasil pengurangan panas dari radiasi matahari yang masuk melalui jendela kaca, berkat pembayang

Jenis pembayangan ; pembayang dicat pada sisi datangnya sinar	berkurang bila dibandingkan dengan yang tak dicat
1) jalusi di luar menghalangi penyinaran langsung diberi warna putih, krèm	15%
2) Jalusi dari tembaga putih tipis. Kemiringan matahari lebih dari 40° sehingga matahari tidak masuk, diberi warna gelap	15%
3) Markis dari kanvas. Sisi samping terbuka, warna gelap sedang	25%
4) Jalusi model "venetian blinds" do bagian dalam jendela. Kisi-kisi menghalangi penyinaran langsung. Bahan: aluminium yang memantulkan sinar secara difus	45%
5) Penutup jendela, putih atau krèm	55%
6) Penutup jendela rapat berwarna gelap	80%

TABEL VI

Refleksi oleh bahan-bahan bangunan terhadap sinar matahari dan benda-benda lain bersuhu tak terlalu tinggi

Bahan	refleksi panas dari matahari %	refleksi panas dari benda-benda bersuhu %
1) pualam putih	54	5
2) kapuran putih	80	
3) Batu kapur pasir putih	50-59	
4) Batu kapur	43	
5) Beton		6
6) Plestern		9
7) Batu merah	23-30	
8) Genteng merah muda	53	
9) Genteng semen tak berwarna	35	
10) Asbes semen baru	60	
11) Asbes semen, satu tahun	29	
12) Seng berombak baru	36	72-77
13) Seng berombak tua	10	72
14) Cat timah putih	70	11
15) Aluminium	47	96
16) Cat aluminium	46	33-73
17) Daun-daunan hijau	21-29	

Keterangan:

1 = Semakin besar refleksi, semakin kecil kalor yang ditimbun.

2 = refleksi besar dilakukan oleh warna yang muda (yang terbesar yang putih).

3 = untuk tanah ngarai yang panas, atap dan dinding berwarna muda sangat baik.
untuk pegunungan yang tinggi dingin, atap dinding berwarna gelaplah yang menguntungkan demi penimbunan kalor.

4 = Benda yang rendah daya absorbsinya, rendah pula daya pemancaran kalornya.

Ternyata:

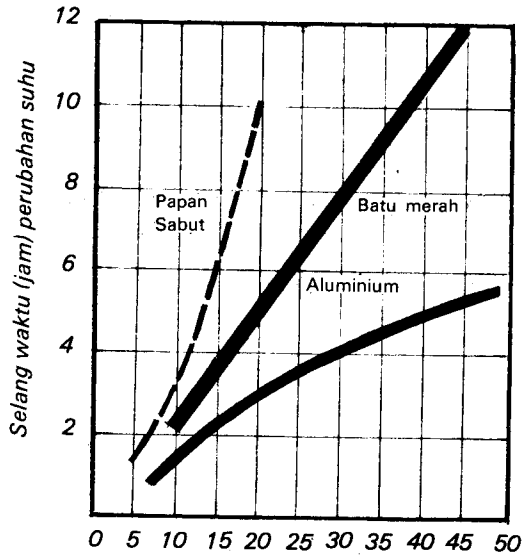
aluminium yang dicat putih di atas dan tidak dicat di bawah berhasil 100%

aluminium yang kedua sisi tak dicat berhasil 86%

aluminium yang dicat putih di bawah dan tidak dicat di atas berhasil 60%

6.5 **Penimbunan kalor, kemalasan pemanasan**

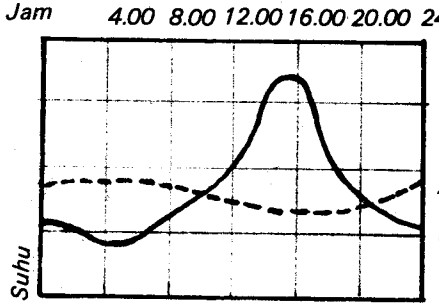
a. Ternyata, bahwa dalam proses pemanasan itu, bahan bangunan bertabiat mirip busa karet yang menghisap dulu air banyak sebelum basah sungguh-sungguh dan membasahi sekelilingnya. Air seolah-olah digudangkan dulu, diakumulasi. Demikian juga bahan bangunan yang terkena panas dari satu sisi, tidak segera menyalurkan panasnya ke sisi yang dingin. Bahan bangunan menghisap panas ekstra banyak dulu, sebelum udara di sisi dingin mendapat kalor. Jelaslah, bahwa ada *selang waktu,* sebelum udara di sisi dingin bersuhu sama dengan udara di sisi bahan yang dipanasi. (time lag) *(Gambar 60 a, b).* Semakin tebal bahan semakin lama juga waktu dibutuhkan untuk menimbun sejumlah kalor sampai penuh; dan semakin lama juga jarak waktu agar sisi dingin bersuhu sama dengan sisi yang panas.



Keterangan:
Batu merah setebal 15 cm sanggup menahan kalor selama hampir 4 jam, sebelum suhu sisi dingin sama dengan suhu sisi luar 4 jam yang lalu. Aluminium cukup minta selang waktu 2 jam lebih sedikit. Sedangkan papan sabut minta selang waktu 6 jam.

Gambar no. 60a.

b. Pada setiap jenis bahan bisa diukur, *berapa kilo-kalori dibutuhkan untuk memanaskan 1 kg. bahan agar menaikkan suhunya 1°C.* Jumlah itu disebut *kalor-jenis (c)* dari suatu bahan, dan diukur dengan kkal/kg.°C. atau Y/kg.°C.



Suhu permukaan dalam dari dinding sisi barat ruangan yang ber-A.C.

dinding tebal (misalnya batu merah) 40 cm

dinding tipis (kaca) 4 cm

Gambar no. 60b

Gambar No.60b Grafik ini menunjukan bahwa permukaan dalam suatu dinding batu merah tebal 40 cm paling dingin pada jam 4 sore dan terasa panas pada jam 4 pagi. Ini berarti bahwa suatu dinding tebal hangat di waktu malam, akan tetapi sejuk di waktu siang. Dinding tipis (contoh kaca tebal 4 cm) lekas menjadi panas jika matahari bersinar dan penggeseran fase adalah 3 jam. Jika-lau matahari terbenam, dinding tipis lekas mendingin dan ruangan di waktu malam lekas mendingin. Suhu terendah jam 4 pagi.

c. Jika benda punya massa m, maka jumlah kilokalori yang dibutuhkan untuk naik suhu 1°C adalah: $W = m.c.$
W disebut: *kemampuan menghimpun/menimbun kalor* dari suatu bahan tertentu.

d. Sering yang kita ketahui bukan massa suatu bahan, melainkan volumenya (V).
Padahal

$$\text{volume} = \frac{\text{massa}}{\text{massa jenis}}$$ $m = \varrho . V$ sedangkan $w = \varrho . c$

massa-jenis adalah massa per satuan volume $= \varrho$

$w = \varrho . c$ = disebut juga: *kemampuan-jenis menghimpun kalor,*

dihitung dengan Kkal/m³. °C
atau J/m³ °C

$W. = m.c. = \varrho V.c = w.V$ (kkal/°C) = daya menghimpun kalor

Dalam tabel di halaman berikut dapat dilihat harga-harga untuk beberapa jenis bahan-bangunan.

TABEL VII

nr. Bahan	ρ	λ		c	ω
	kg/m³	kkal/m.j.°C		kkal/kg.°C	kkal/m³.°C
		I	II		
1. pasangan batu-bata	1.600	0,55	0,62	0,20	380
2. pasangan batu-bata	1.000	0,34	0,41	0,20	200
3. pasangan batu-bata	700	0,28	0,32	0,20	140
4. pasangan batu-bata	400	0,22	0,23	0,20	80
5. beton bertulang	2.300	1,2	1,6	0,20	460
6. beton tak bertulang	2.200	1,1	1,5	0,20	440
7. beton ringan	1.800	0,80	0,95	0,20	360
8. beton busa	400	0,16	0,19	0,20	80
9. plesteran kapur	1.600	0,60	0,80	0,20	320
10. granit	2.800	3,5	3,5	0,20	560
11. pualam, marmer	2.700	2,5	2,7	0,20	540
12. batu-kali	2.600	1,4	1,8	0,20	520
13. isolasi dari bahan organis	100	0,037	0,041	0,20	20
14. pelat gabus	200	0,049	0,051	0,42	84
15. semen asbes	1.000	0,25	0,31	0,20	200
16. kayu (arus kalor tegak lurus serat)	1.000	0,19	0,20	0,45	450
17. kaca	2.500	0,70	0,70	0,20	500
18. aspal	2.100	0,60	0,60	0,22	462
19. karet	1.500	0,15	0,15	0,34	510
20. besi, baja	7.800	45	45	0,115	900
21. aluminium	2.800	175	175	0,21	590
22. perunggu	8.900	56	56	0,09	800
23. kuningan	9.000	380	380	0,91	820
24. timah-hitam	12.250	30	30	0,031	380
25. seng	7.200	95	95	0,094	680

Catatan:

λ = koefisien penghantaran kalor (lihat selanjutnya pasal 6.7.b) yaitu: jumlah kilokalori yang selama satu jam (j) melintasi benda seluas 1 M^2 dan setebal 1 M, bila selisih suhu sisi-sisi yang satu dengan yang lain berjumlah 1°C.

Kolom I berlaku untuk dinding-dinding ruang dalam, lantai loteng, juga untuk dinding-dinding luar, asal semua itu terjamin kering dan tidak akan mengandung kebasahan yang menyusup dari luar maupun dalam.

Kolom II berlaku untuk unsur-unsur di luar persyaratan I tersebut. Ternyata bahwa semakin besar volume-berat suatu benda, semakin besar juga kemampuan menularkan panas. Selain itu kita melihat juga, bahwa semakin besar volume-berat, semakin besar juga kemampuan jenis menghimpun panas.

Itu berarti praktis, bahwa bahan-bahan yang besar kemampuannya meneruskan panas, adalah bahan-bahan yang sedikit sekali menahan kalor. Dengan kata lain: penghimpun kalor yang besar.

6.6 Volume Kalor (Q)

Untuk mencatat penghimpunan panas, orang membuat pengertian *volume panas* (Q).

a. *Volume kalor sama dengan kilokalori kalor yang dihimpun bahan benda agar naik suhu dari 0°C ke t°C.* maka

$$Q = W.t.$$

Q dapat berharga positif ataupun negatif, tergantung dari suhu di atas atau di bawah 0°C.

Jika suatu benda dengan suhu t_1 °C. dipanasi menjadi t_2°C, maka volume kalor Q_1 menjadi Q_2. atau:

$$Q_2 - Q_1 = Wt_2 - Wt_1 = W(t_2 - t_1).$$

b. Catatan:

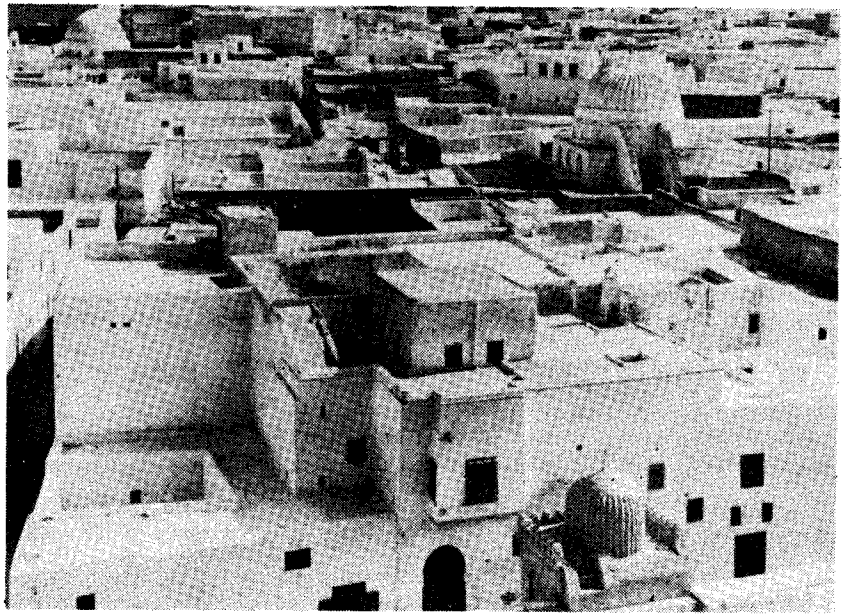
Karena $W = \rho.V.c$, maka tampak, bahwa kemampuan menghimpun panas tergantung selain dari *volume* bahan, juga dari jenis bahan yang punya *kalor-jenis* sendiri-sendiri. Tadi kita bertolak dari anggapan, bahwa bahan bangunan yang kita pakai adalah berbahan tunggal. Tetapi kerap kita temukan dalam bangunan dinding-dinding yang berbahan majemuk.

Maka perhatikanlah, bahwa susunan kedudukan lapisan-lapisan dinding sangat menentukan grafik suhu. Dengan kata lain: dalam suatu dinding berbahan majemuk, kedudukan bahan penahan (isolator kalor) yang dipasang di sisi luar akan mengakibatkan pengaruh suhu di sisi dalam yang lain sama sekali daripada bila bahan itu kita pasang di sisi dalam.

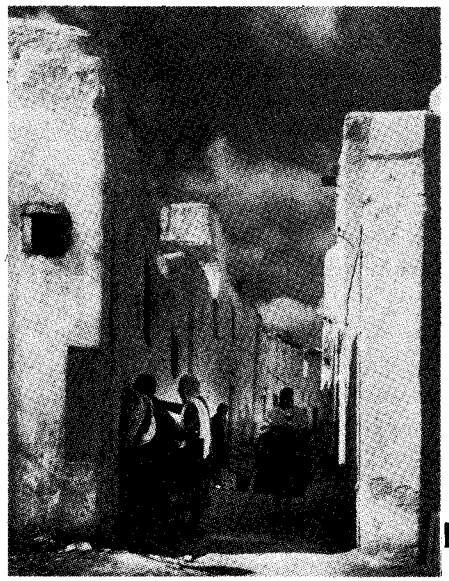
(Lihat daftar angka-angka pada tabel-tabel VII s/d X)

c. Perlu kita catat juga, bahwa jumlah keseluruhan volume kalor dalam suatu kamar tidak hanya ditentukan oleh sumbangan-sumbangan dari dinding-dinding, lantai, langit-langit dan sebagainya, akan tetapi juga volume kalor yang datang dari perabot rumah; dan jangan dilupakan: dari tubuh manusia itu sendiri juga.

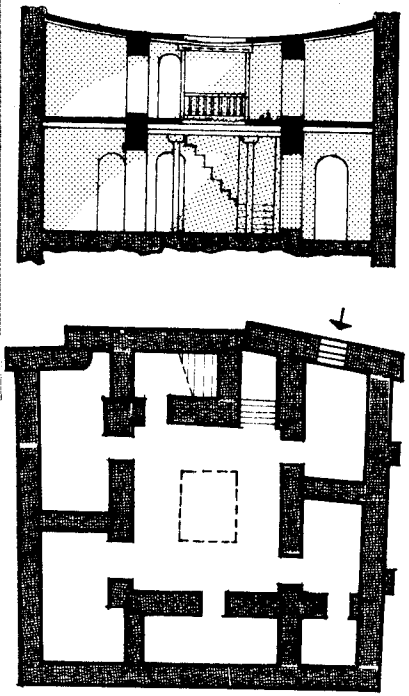
Semakin besar volume kalor, berarti semakin pelan-pelan suhu dalam suatu kamar akan turun (atau naik) bila sumber panas (misalnya matahari yang menyinari dinding) berhenti (mulai) memanasi. Gejala itu mirip dengan akibat perputaran roda-gendeng suatu mesin, yang menghimpun energi gerak dalam perputaran massanya yang besar. Bila mesin berhenti, roda-gendeng yang terlanjur berputar, sangat lamban untuk berhenti. Dan sebaliknya ia lamban berputar pada saat mesin mulai berputar. Itu yang disebut massa benda "malas". "Kemalasan" massa untuk mulai berputar atau mulai berhenti bila sudah terlanjur berputar disebut *enersia.* Juga di sini, kita punya semacam kemalasan (enersia) menjadi panas pada bahan bangunan yang bervolume-berat besar. Dari sebab itu rumah-rumah di kawasan yang panas-kering seperti di padang pasir Arab dan sebagainya



Gambar no. 61a Dalam iklim tropika kering, manusia berlindung didalam rumah berdinding tebal, berjendela kecil-kecil.
Foto dari kota Kairouau Tunesia.



Gambar no.61b Jalan-jalan sempit dan rumah-rumah yang erat saling berapat memberikan banyak bayangan - bayangan sejuk.



Gambar no. 62. Denah dan penampang rumah di daerah Timur Tengah yang serba tertutup rapat dengan lubang matahari di tengah.

berdinding sangat tebal dan dikapur putih. Dinding-dinding tebal sangat lamban menjadi panas. (lihat *Gambar 61 a, b, 62).* Kelambanan itu sangat menguntungkan, karena pada pagi dan siang hari ruangan-ruangan dalam rumah tidak lekas panas. Ditambah dengan lubang-lubang pintu dan jendela yang sangat sempit kecil yang tidak terlalu mengundang sinar panas ke dalam. Sedangkan padang pasir di luar lekas menjadi panas, di dalam ruangan rumah terasa masih sejuk. Malam hari, padang pasir sangat cepat menjadi dingin. Tetapi dinding-dinding yang sudah terlanjur menghimpun kalor, hanya lamban menyerahkan kalor itu ke luar, sehingga di dalam ruangan udara tetap masih hangat. Pada pagi hari fajar menyingsing, baru dinding menjadi dingin. Itu menguntungkan demi kesejukan pagi yang terlalu lekas menjadi panas di luar.

d. Daerah tropik lembab pun sebenarnya juga membutuhkan dinding-dinding tebal sebagai gudang panas, terutama di daerah-daerah dingin di pegunungan. Hal itu juga dikerjakan oleh arsitek-arsitek Belanda pada gedung-gedung kuno yang terkenal sangat sejuk sekalipun tanpa alat-alat air-conditioning yang mahal dan yang sebenarnya tidak perlu, asal kita mau membangun dengan dinding-dinding tebal juga.

Tetapi tidaklah boleh dilupakan, bahwa ada pertimbangan penting lain yang tidak perlu dihiraukan di daerah tropika kering, ialah masalah kelembaban udara, yang dibicarakan lebih mendalam lagi dalam pasal 7. Maka tidak berkelebihanlah, bila kita memuji arsitektur pribumi kita yang memakai bahan-bahan yang sekarang sering dianggap bermutu rendah, tetapi benar-benar memenuhi permintaan arsitektur di daerah tropik, ialah pemakaian dinding bambu (bilik) dan ijuk. Rumbai-rumbai ilalang atau daun kelapa juga bahan baik dari segi penggudangan panas. Oleh karena itu rumah-rumah pribumi biasanya sejuk di siang hari dan hangat di malam hari. Dan berkat anyaman bilik-bilik yang tidak rapat, ventilasi angin bisa bagus berjalan, namun terkendali. Lain hal dengan bangunan-bangunan a la Barat yang salah ditafsir prinsip-prinsipnya dan yang serba panas dan serba sesak rasanya.

Memanglah bambu, ijuk, sirap kayu ulin, rumbai dan sebagainya adalah bahan organik yang tidak tahan jaman, akan tetapi mudah dan murah didapat, lagi enak penggunaannya. Sebenarnya bukan bahan itulah yang harus kita singkirkan, melainkan tehnik berkonstruksinya yang harus diperbaiki. Dengan sistem dan peralatan modern sekarang, bahan-bahan organik itu sama sekali tidak boleh kita usangkan, (misalnya dengan pengawetan).

e. Maka bila kita ingin mempunyai dinding yang bervolume kalor besar atau besar kemalasannya untuk naik maupun turun suhu, maka kita dapat juga mencapainya dengan dinding berbahan majemuk. Namun selalu harus diusahakan, agar lapisan-lapisan yang berat dan hanya sedikit menahan panas diletakkan di sisi luar. Demikian jumlah kalori lebih mudah masuk daripada ke luar ruang. Itu berlaku dalam daerah berhawa dingin, di pegunungan dan sebagainya. Sebaliknya bila kita menghendaki agar kalori lebih banyak yang keluar daripada masuk, maka urutan lapisan dipasang terbalik. Misalnya untuk ruang pabrik dan sebagainya.

Demikian juga kamar-kamar tidur yang menghendaki hawa hangat di malam hari akan menuntut susunan lain daripada dinding-dinding dari ruang dapur yang pada siang hari justru menghendaki kesejukan. Masalah penggudangan panas erat hubungannya dengan gejala kondensasi kelembaban dalam konstruksi bangunan maupun dalam udara dari ruangan yang kita pakai. Hal itu telah dibicarakan lebih lanjut dalam Pasal 2.7.

Tambahan

f. Ukuran kemampuan menghimpun kalor suatu bahan dihitung dengan yang disebut harga *indeks daya menghimpun kalor* S_{24}. (dihitung dengan kkal/m².h.°C.); suatu angka yang merupakan penunjuk bagi penilaian gejala-gejala pemanasan atau pendinginan suatu bahan yang dipengaruhi oleh:

1) Kemampuan penghantaran kalor: λ = kkal/jam. m.°C
2) Massa-jenis ϱ = Kg/m³
3) Kalor jenis c = kkal/kg. °C selama waktu 24 jam.

$$S_{24} = 0{,}51\sqrt{\lambda \cdot \varrho \cdot c}\ (kkal/m^2.\ jam.\ °C.)$$

Semakin besar S_{24}, semakin besar juga kemampuan penghimpunan kalor. Bahan penggudang kalor yang baik (atau buruk) antara lain diukur juga dari selang waktu yang berlalu antara saat kalor jatuh pada sisi luar dinding dan saat kalor tembus sampai permukaan sisi dalam. Dengan kata lain: selang waktu yang dibutuhkan kalor matahari untuk menerobos suatu dinding sampai ke sisi dalam. (Tabel IX).

TABEL VIII

bahan	massa-jenis (keadaan kering)	daya penghantaran kalor	kalor jenis	indeks daya menghimpun kalor
	ϱ	λ	c	S_{24}
	kg/m³	kkal/m.jam.°C	kkal/kg.°C	kkal/m².jam.°C
1. Pasangan batu-bata	1.200	0,46	0,22	5,62
2. batu-alam kapur	1.600	0,78	0,22	8,20
3. batu-alam kali	1.260	0,45	0,22	5,60
4. keramik keras	1.700	0,90	0,22	9,37
5. semen asbes	1.300	0,39	0,25	5,75
6. kayu (tegak lurus pada serat)	500	0,12	0,60	3,06
7. pelat sekaman kayu ringan (tebal 50 mm)	400	0,08	0,50	2,04
8. bahan isolasi serabut mineral	50	0,04	0,20	0,32
9. bahan gelas, batu apung dan sebagainya	100	0,088	0,20	0,44
10. bahan isolasi serabut tekstil	20	0,087	0,35	0,26
11. pelat-pelat gabus	750	0,17	0,50	4,07
12. Sekaman PVC	220	0,05	0,24	0,83
13. sisa-sisa karet	400	0,07	0,30	1,48
14. aspal	2.000	0,60	0,25	8,80
15. teraso	2.000	1,00	0,25	11,40
16. beton keras	2.500	1,50	0,25	15,60
17. kaca jendela	2.400	0,70	0,20	9,35
18. porselin	2.300	0,70	0,20	9,20
19. aluminium	2.700	175,00	0,20	156,00
20. baja	7.800	50,00	0,20	143,00
21. kuningan	8.900	230,00	0,20	326,00
22. air	–	0,50	1,00	11,50

g. *Selang waktu* yang dibutuhkan bahan agar sisi dingin bersuhu sama dengan sisi yang terkena panas.

TABEL IX

Bahan	tebal inch (± cm)		selang waktu (time lag) jam, menit.
batu-bata	9	23	7.30
	4,5	1,5	3.45
beton	6	15	4.20
	4	10	2.55
	2	5	1.30
kayu	2	5	3.00
	1	2,5	1.30

6.7 **Isolasi kalor (termis)**

a. Isolasi kalor tentulah penting untuk daerah tropika panas, agar jangan terlalu banyak kalor dari matahari masuk ke ruang-dalam. Terutama untuk ruangan-ruangan yang menggunakan alat air-conditioning (A.C.), ruang orang sakit dan ruangan-ruangan khusus lain. Suatu konstruksi (dinding, atap, jendela, dan sebagainya) punya daya isolasi, apabila sanggup mengurangi penghantaran kalor dari sisi yang panas ke sisi yang dingin. Ada empat bahan pertimbangan yang harus kita perhatikan:

1) *Selisih suhu* yang diperkirakan timbul antara sisi panas dan sisi dingin. Biasanya berhubungan dengan persyaratan suhu maksimum atau minimum berapa untuk kebutuhan sesuatu ruangan. Ruangan sekolah, ruangan untuk tamu, ruangan gudang, kamar-mandi, ruangan operasi rumah sakit, ruangan pendingin daging, semua itu membutuhkan persyaratan suhu maksimum-minimum yang berlainan. Selain itu harus dipertimbangkan juga ruangan di sebelahnya, sebab yang menjadi soal bukan hanya suhu maksimum-minimum dalam ruangan itu sendiri, melainkan relatip dalam keselisihannya dengan ruangan di sebelahnya.

2) Sangat berpengaruh juga ialah *kadar kelembaban udara* dalam ruangan-ruangan yang bersangkutan. Pertama karena kelembaban udara sangat menentukan dalam segi rasa kenikmatan suhu ruangan. Ruangan sejuk tidak enak didiami apabila pengap atau berbau busuk karena lembabnya. Kedua dalam hubungannya dengan kemungkinan timbulnya kondensasi uap-air.

TABEL X

h. **Kalor-jenis dan kemampuan jenis menghimpun kalor**

bahan	ϱ kg/m³	kalor jenis c. kkal/kg.°C	kemampuan jenis menghimpun kalor ω. kkal/m³.°C
pasangan batu-bata	1.900	0,20	380
pasangan batu	400	0,20	80
pasangan batu kapur	2.000	0,20	400
	1.700	0,20	340
beton bertulang keras	2.500	0,20	500
beton tidak bertulang keras	2.400	0,20	480
beton ringan dengan campuran			
bahan anorganis	1.900	0,20	380
	400	0,20	80
beton busa tanpa campuran	1.300	0,20	260
bahan berpori, hanya			
berongga-rongga udara	400	0,20	80
plesteran kapur	1.600	0,20	320
tegel keramik	1.700	0,20	340
batu-alam	3.000	0,20	600
marmer	2.700	0,20	540
bahan isolasi organik ringan			
(dengan dan tanpa lim perekat)	1.000	0,40	400
	400	0,50	200
	200	0,50	100
	50	0,50	25
asbes-semen	1.600	0,20	320
	1.000	0,20	200
bahan isolasi anorganik ringan	300	0,20	60
(dengan dan tanpa lim perekat)	50	0,20	10
kayu (arus panas tegak lurus	1.000	0,45	450
pada arah serat)	700	0,45	315
	400	0,45	180
gabus, pelat gabus	100	0,42	42
kaca	2.500	0,20	500
aspal	2.100	0,22	462
karet	1.500	0,34	510
besi dan baja	7.800	0,115	900
aluminium	2.800	0,21	590
perunggu	8.900	0,09	800
kuningan	9.000	0,091	820
timah hitam	12.250	0,031	380
seng	7.200	0,094	680

3) Selain itu setiap ruangan membutuhkan suatu derajad kenikmatan tertentu yang minimum. Suatu ruang-kerja, bengkel, ruang-tamu, ruang sakit tidak sama persyaratannya dan karenanya minta suatu jawaban yang optimal mengenai konstruksinya peri hal isolasi kalornya. Dengan kata lain: sesudah persyaratan konstruksi isolator kalor tertemu, kita masih harus memilih bahan dan susunan konstruktip yang mana seyogyanya dipilih dari sekian banyak alternatip.

4) Itu erat hubungannya dengan pertimbangan ekonomi. Terutama bila dalam pemilihan bahan atau sistem apa yang akan kita pilih, masih perlu dipertimbangkan juga kombinasi dengan kemampuan daya isolasi bunyi yang dituntut dari suatu konstruksi (lihat selanjutnya Pasal 8).

b. Setiap bahan bangunan punya sifat menahan kalor, memiliki *daya isolasi kalor.* Daya isolasi kalor itu diungkapkan dengan yang disebut *nilai* λ. Nilai λ menunjuk pada *jumlah arus kalor yang terjadi melalui suatu kubus suatu bahan yang panjang, lebar, tingginya 1,0 meter,* apabila *selisih antara dua sisi kubus yang berhadapan itu berjumlah 1°C.* Dihitung dengan

$$\lambda = \frac{kkal}{m.\,j.\,°C}$$

(kilokalori per meter, jam dan derajad Celcius)
λ disebut juga koefisien penghantar kalor.

Harga λ dari suatu bahan antara lain tergantung dari *berat volume, kadar kelembabannya,* dan *susunan* bahan itu. Ada konstruksi yang memang terdiri hanya dari satu bahan (homogen). Ada yang heterogen, dan terdiri dari macam-macam lapisan (konstruksi dengan bahan majemuk), dengan masing-masing tebal d_1, d_2, d_3, dan seterusnya. Dan tentulah dengan nilai λ yang bermacam-macam pula, λ_1, λ_2, λ_3 dan seterusnya. Harga tersebut memegang peran dalam pembentukan daya isolasi kalor suatu konstruksi tertentu.

c. Selain itu dicatat juga, bahwa penularan kalor dari dinding ke udara (atau sebaliknya) tergantung juga dari ada-tidaknya *hembusan angin* pada sisi dinding bersangkutan. Dari sebab itu kita mengenal pengukuran faktor ini dengan yang disebut *angka peloncatan kalor (a),* baik di sisi yang panas(a_p) maupun di sisi dingin (a_d). Angka peloncatan kalor atau koefisien peloncatan kalor dihitung dengan kilokalori per M² bidang per jam per sekian °C selisih antara suhu sisi dinding (bahan konstruksi) dan hawa udara yang bersangkutan.

d. Seumumnya dalam keadaan tidak luar-biasa, koefisien a_d dari bidang-bidang (dinding, atap, lantai) di sisi yang bersebelahan dengan alam luar mengambil harga $a_d = 20$ kkal/m²h°C.

Yang bersebelahan dengan ruangan-ruangan di bawah tanah, gang-gang merayap di bawah lantai dsb., jadi dengan ruangan-ruangan tidak penting di sebelah bawah yang berhubungan dengan tanah, harga $a_d = 10$ kkal/m2h°C. (ruangan-ruangan itu harus cukup diventilasi). Bidang-bidang yang vertikal dan bersebelahan dengan ruang-ruang dalam rumah: $a_d = 6$ kkal/m2h°C. Bidang-bidang yang horisontal dan bersebelahan dengan ruang-ruang dalam rumah: $a_d = 7$ kkal/m2h°C.

Perbedaan pada harga-harga yang bersangkutan dengan bidang yang vertikal dan horisontal disebabkan oleh perbedaan hasil *penghantaran kalor* pada udara. Sebab adalah lain keadaan, di mana hawa-udara dapat mengalir ke atas atau tidak, horisontal atau vertikal, serta apakah arah dari atas ke bawah atau dari bawah ke atas. Itu ada hubungannya dengan penghantaran kalor yang berupa konveksi. (lihat Pasal 6.2).

e. Lihatlah harga-harga dalam daftar koefisien penghantaran kalor hawa-udara di bawah ini:

a = lapisan udara yang vertikal kedudukannya.
b = lapisan udara yang horisontal letaknya.
c = lapisan udara yang horisontal, tetapi dengan arus udara panas ke atas.

TABEL XI Koefisien Penghantaran Kalor di Hawa Udara

tebal lapisan udara dalam cm.	1	2	4	6	10	15
a.	0,06	0,10	0,19	0,29	0,49	0,74
b.	0,06	0,09	0,16	0,23	0,37	0,54
c.	0,06	0,11	0,22	0,32	0,53	0,79

Ternyata, bahwa *daya isolasi udara yang paling menguntungkan ada pada udara dengan lapisan setebal 4-6 cm.* Ini jarak yang ternyata paling efektip.

f. Dari harga-harga a_p, a_d, tebal konstruksi, dan koefisien penghantaran kalor dari bahan konstruksi, kita dapat memperoleh angka penerusan kalor atau yang disebut *nilai K* dari sesuatu bahan atau konstruksi, yang menunjukkan *kemampuan isolasi kalor* dari bahan atau konstruksi yang bersangkutan.

Untuk konstruksi dengan bahan tunggal:

$$K = \frac{1}{1/a_p + d/\lambda + 1/a_d}$$

d = tebal konstruksi dihitung dalam meter.

g. Untuk konstruksi dengan bahan majemuk:

$$K = \frac{1}{1/a_p + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3 + d_n/\lambda_n + 1/a_d}$$

d_1, d_2, d_3, d_n: tebal dari masing-masing lapisan
λ_1, λ_2, λ_3, λ_n: nilai λ dari masing-masing lapisan

h. Dapat dijadikan ancar-ancar praktis ialah nilai-nilai K berikut ini: Teranglah dari rumus itu, bahwa: semakin tinggi nilai K, semakin buruk juga daya isolasi. Demikian juga sebaliknya.

Nilai K dari atap genting (genting bagus) misalnya, tanpa lapisan plafond kayu di bawahnya adalah sekitar 10,0. Sedangkan bila diberi lapisan papan di bawahnya, nilai K berharga 2,3.

Dapat dijadikan ancar-ancar praktis nilai-nilai K berikut ini:

TABEL XII

jenis ruang yang dibatasi	tidak boleh lebih dari: kkal/m2h°C lantai,	dinding luar,	atap
semua ruangan	1,75		
ruang-ruang kediaman yang pokok		1,50	1,00
ruangan-ruangan lain		1,75	1,50

TABEL XIII

Nilai-nilai λ untuk beberapa bahan

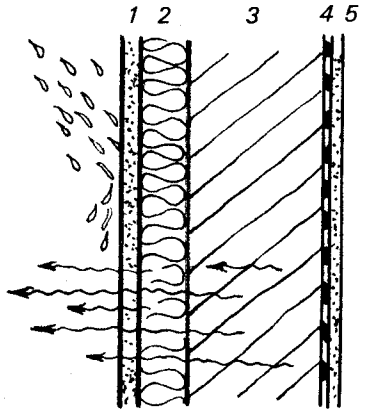
jenis bahan	berat/volume kg/m³	λkkal/mh°C
batu alam	1.800	0,80
batu bata baik	1.600	0,60
beton bertulang	2.500	1,60
beton tak bertulang	2.200	1,20
beton ringan, bata berpori banyak	1.000	0,45
beton busa	700	0,20
beton busa	400	0,15
kayu	700	0,10 - 0,15
pelat kayu sekaman PC, pelat-pelat jerami	400	0,10
wol gelas, wol batu, wol slak	50	0,035
gabus	150	0,004- 0,05
kaca	2.500	0,70
aspal	2.100	0,60
linoleum, karet	1.500	0,15
baja	7.800	45,00

Catatan:

Untuk bahan-bahan yang berpori banyak, angka-angka tersebut harus dipertinggi dengan minimum 20%, bila kelembaban relatip lebih dari 75%.

6.8 **Petunjuk praktis**

a. Harus diperhatikan bahwa isolasi *termis* dalam dinding tidak sama dengan isolasi *kelembaban*. Maka harus diperiksa selalu, apakah terjadi kondensasi di dalam konstruksi bangunan (lihat keterangan selanjutnya pada Pasal 2.7). Itu terutama untuk dinding-dinding dalam gedung-gedung, yang berbatasan pada pihak yang relatip lembab, misalnya pada gedung olah-raga renang, ruang-ruang pertemuan, teater, pabrik-pabrik tertentu, ruangan mandi/WC dan sebagainya. Di sini di pihak yang lembab, dinding harus diberi isolasi kelembahan (foli aluminium, lapisan tir/aspal dan sebagainya) dan di pihak luar, dinding harus dijamin bisa menguap/bernapas baik *(Gambar 63)*.



Gambar no. 63
Susunan lapisan dinding yang betul

1. *lapisan penolak hempasan dan perembesan hujan ke dalam, tetapi masih cukup berpori untuk bernapas.*
2. *lapisan isolasi kalor*
3. *lapisan penghimpun kalor*
4. *lapisan penghalang kelembaban dari dalam*
5. *lapisan peresap kelembaban dari dalam*

b. Bila kelembaban di sisi satu hanya sementara, maka dinding di sisi basah dibuat dari material yang cukup berpori, hingga dapat meresap air-/uap yang dapat diuapkan lagi pada saat ruangan dalam keadaan kering lagi.

c. Dari pasal-pasal pelajaran yang lalu kita bisa menarik kesimpulan praktis untuk melindungi diri terhadap sengat, silau dan panas sinar matahari yang berlebihan masuk ke dalam ruang. Akan tetapi sudilah ingat juga: sinar matahari harus masuk ke dalam rumah, demi kesehatan kita. Oleh karena itu, di mana matahari kurang masuk, sinar matahari tentulah harus diundang untuk lebih masuk ke dalam rumah, bahkan dapat dikatakan: sinar matahari harus sebanyak mungkin masuk ke dalam rumah. Nilai kesehatan harus kita hargai lebih daripada kenikmatan. Barulah apabila memang ternyata sinar matahari benar-benar mengganggu karena berlebihan, jadi berarti juga mengganggu kesehatan, maka usaha-usaha mengurangi pemasukkan sinar perlu dikerjakan.

d. Nyaman tidaknya suhu udara dalam ruangan tergantung dari banyak faktor keadaan fisik dan kebiasaan manusia, yang dibawa atau dialami sejak masa kanak-kanak serta adat kebiasaan lain. Tetapi menurut ukuran orang yang dianggap punya kebiasaan dan peradaban modern (ukuran kurang lebih internasional) kenyamanan optimum berkisar di sekitar suhu 70°F/21°C pada kelembahan 40-70%. Sinar matahari paling bagus dimasukkan ke dalam rumah secara langsung sebelum jam 9.00 pagi dan sesudah jam 17.00 sore. Di antara jam 9.00 dan 17.00 cukuplah sinar matahari yang tidak langsung saja sebagai refleksi dari pelbagai benda dan unsur alam di luar.

e. Demikianlah jelas, bahwa kedudukan arah rumah, bangunan atau jendela-jendela ruangan harus tepat. Yang paling baik ialah, bila di sebelah barat (matahari siang sore) rumah tertutup oleh dinding, dengan daya isolasi thermis yang memadai. Sebelah timur sebaiknya terbuka untuk matahari pagi dan selanjutnya terlindung (terbayang) terhadap matahari yang semakin meninggi. Pada dinding sebelah utara maupun selatan orang bebas memasang jendela-jendela lebar. Perlu diperhatikan setempat, dari sebelah mana matahari bersinar, lebih di sebelah utara ataukah di selatan pada musim apa, kemarau atau musim hujan. Itu tergantung letak bangunan kita, di utara atau di selatan khatulistiwa. (lihat diagram latitude dan azimut *(Gambar 64-65)*.

DIAGRAM PENOLONG MENCARI SUSUNAN BAYANGAN
yang bisa dipakai untuk segala lokasi antara 40° Utara dan 40° Selatan.

azimut : untuk hemisfer Utara: sudut antara letak matahari dan titik Selatan, dihitung horisontal pada cakrawala.
untuk hemisfer Selatan: sudut antara letak matahari dari titik Utara, dihitung horisontal pada cakrawala.

altitude = sudut antara matahari di atas horison, dihitung tegaklurus.

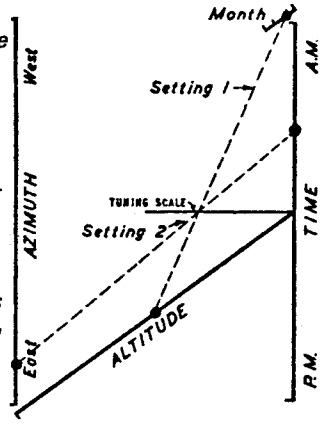
2. Mencari azimut
bila diketahui, pukul berapa, bulan dan altitude matahari.

Cara mencari:

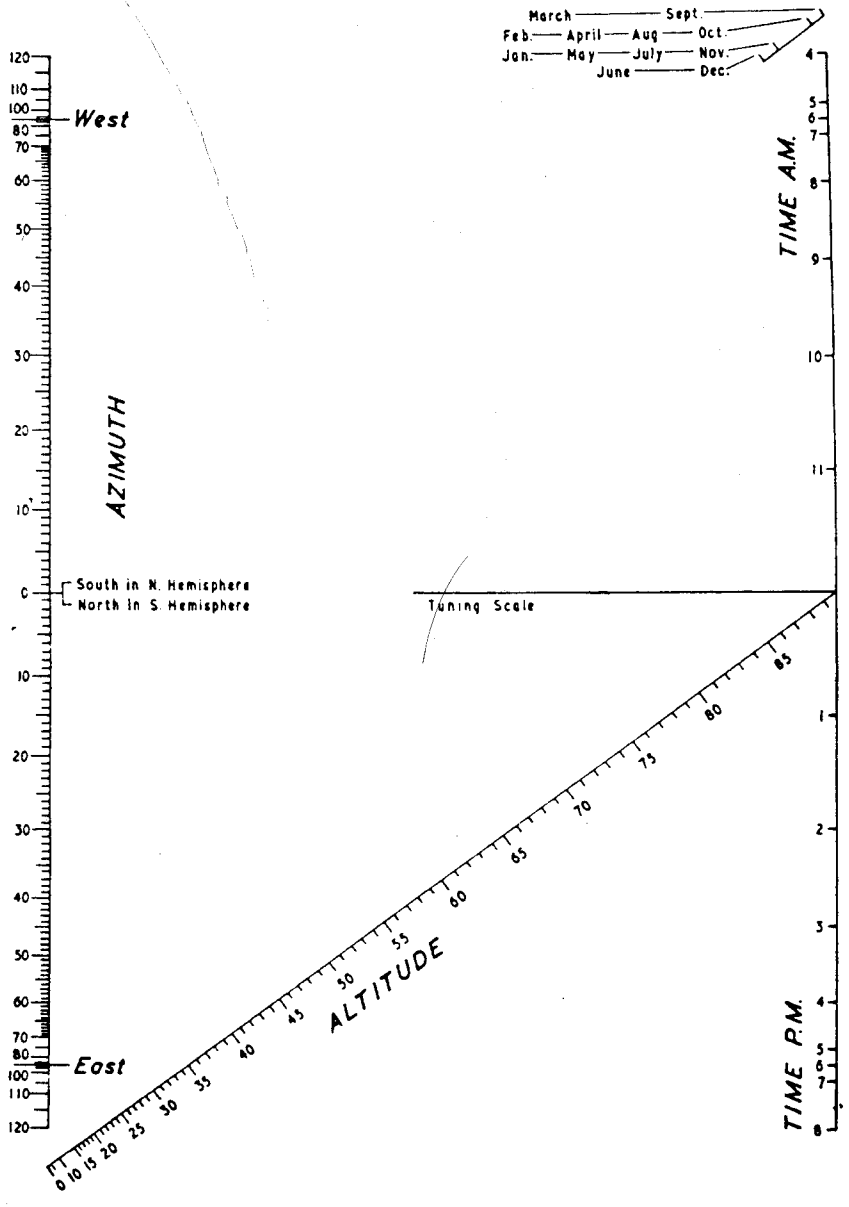
1= tariklah garis yang menghubungkan bulan dan altitude matahari (kedudukan 1)

2= garis tersebut memotong skala tuning di suatu titik. Hubungkan titik itu dengan titik yang menyatakan waktu pukul berapa. (kedudukan 2)

3= maka garis kedudukan 2 memotong garis azimut, dan ketemulah harga azimut yang dicari.



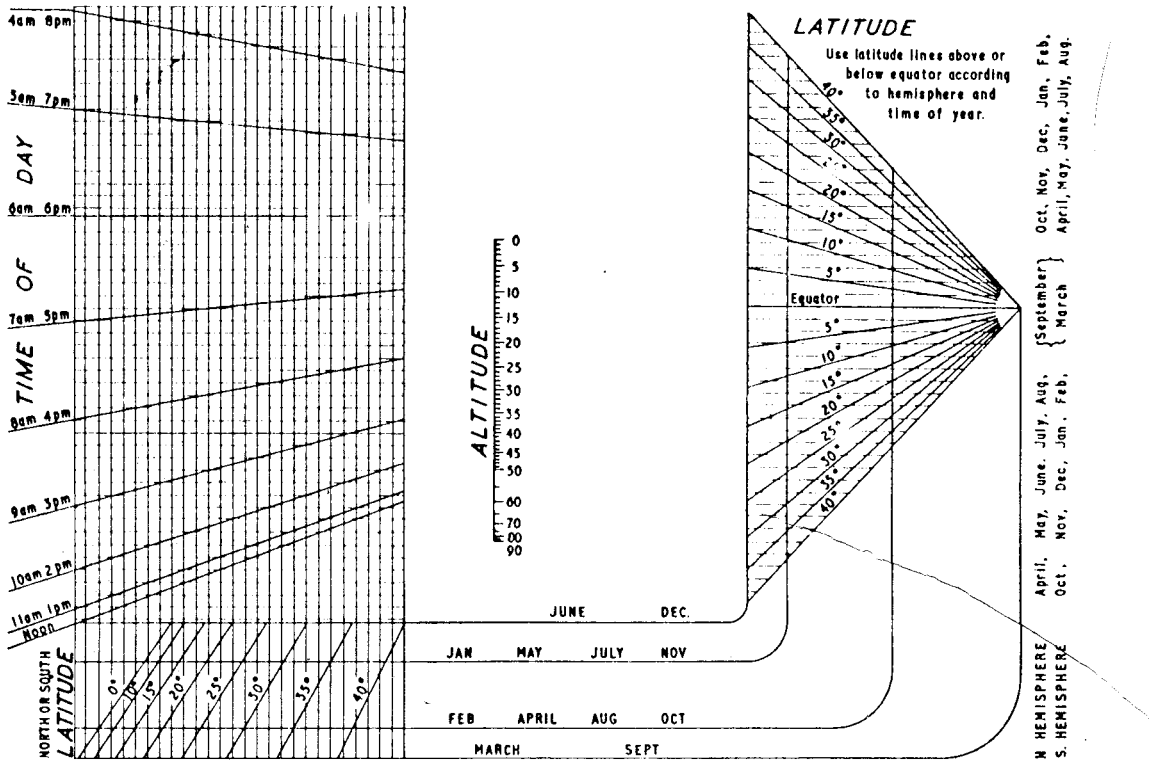
Gambar no. 64a



Gambar no. 64b

DIAGRAM AZIMUT

DIAGRAM ALTITUDE



Gambar 65a

altitude : adalah sudut dari matahari ke cakrawala, dihitung tegak lurus terhadap cakrawala.

1. *Mencari altitude,*
   bila diketahui, lokasi latitude (Utara atau Selatan) pukul berapa dan bulan.

Cara mencari:

Carilah dulu garis-bulan yang sesuai

1= ikutilah garis-bulan kekiri sampai memotong garis latitude

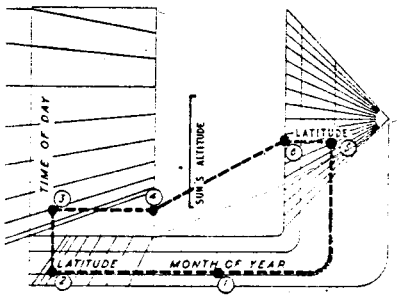
2= proyeksikan lurus ke atas titik itu melalui garis-garis tuntunan sampai memotong garis pukul berapa.

3= proyeksikan itu horisontal ke tepi skala-waktu.

4= demikian juga ikutilah garis-bulan ke kanan sampai memotong garis latitude yang sesuai dalam segitiga latitude.

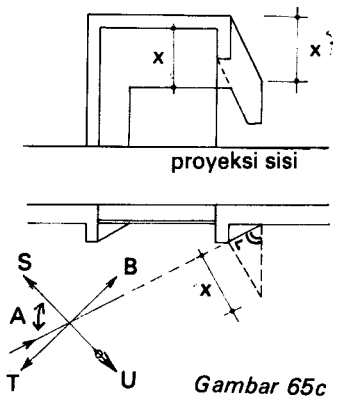
5= (pergunakanlah sekarang garis-garis latitude yang sesuai menurut kedudukan lokasi di utara atau di selatan khatulistiwa serta bulan dalam tahun). Proyeksikan titik 5 tadi horisontal ke kiri ke tepi segitiga latitude.

6= Garis yang anda tarik dari titik 4 ke titik 6 akan memotong skala altitude pada harga angka yang dicari.



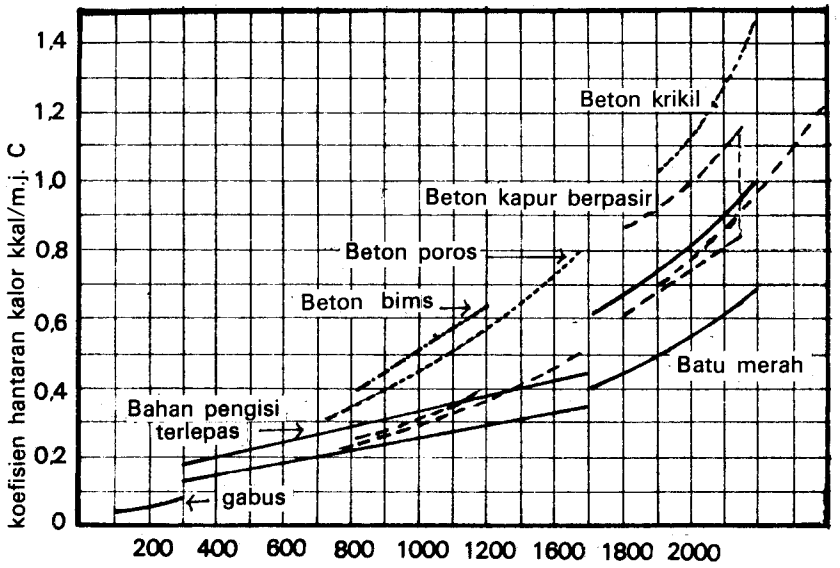
Gambar 65b

3. *Dengan pertolongan harga-harga altitude dan azimut kita dapat mudah mencari proyeksi-proyeksi susunan bayangan sesuatu konstruksi yang kita cari (gambar no.65c).*



Gambar 65c

f. Unsur atap sebagai payung jelaslah merupakan pokok perhatian kita yang terpenting dalam soal pengaturan suhu dalam ruangan. Penutup atap sanggup menghalangi penembusan sinar-sinar silau dan sengat. Tetapi bagaimanapun, ia masih selalu menjadi panas dan karenanya menjadi sumber panas yang baru. *(Gambar 66 a, b)*. Maka langit-langitlah yang bertugas untuk menghalang-halangi sinar radiasi panas yang datang dari penutup atap. Dari sebab itu, langit-langit sebaiknya terbuat dari bahan yang selain rapat dan tahan air, juga penghalang terhadap radiasi panas. Janganlah justru ia sendiri lalu menjadi radiator panas sesudah terkena radiasi panas dari penutup atap. Biasanya bahan itu adalah bahan yang berberat-jenis rendah. Tetapi sekaligus harus bahan kedap dan tahan air juga.



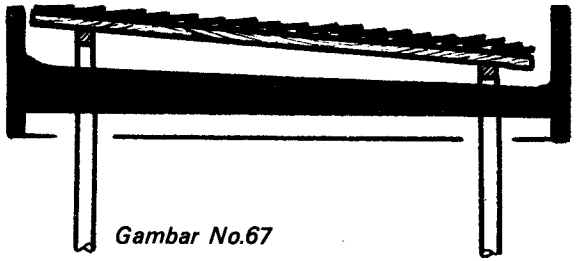
Gambar no. 66a

Daya penghantar panas makin besar bila berat jenis makin besar. Daya penghantaran ini tergantung juga dari adanya udara tetap (udara tak mengalir) didalam bahan.

Di dalam bahan dengan berat jenis rendah daya itu rendah dan karena itu bahan semacam itu baik untuk dinding-dinding dan atap-atap yang perlu mempunyai daya isolasi terhadap panas matahari. Bambu dan kayu mencukupi syarat itu.

Gambar no. 66b Suatu jenis pelat penanggulan panas/dingin yang praktis dan relatip murah untuk tanah air kita yang banyak punya sisa kayu ialah ini: Pelat ketaman kayu yang direndam/terlapis semen PC, dan karena itu tak mudah terbakar. Berfungsi banyak sebagai: Isolasi terhadap panas (api), dingin.
Juga sebagai pelat bekisting beton yang disengaja harus tetap melekat pada beton (mudah karena permukaannya kasar sekali). Terhadap gangguan bunyi pelat sejenis ini dapat menyerap kegaduhan bunyi sampai 50%. Sesudah beton dicor, pelat-pelat bekisting beton sejenis ini tak perlu diambil lagi, tetapi dibiarkan terus pada beton dan bertugas sebagai pelindung. Juga begitu paku-paku tidak perlu lagi diborkan dulu langsung pada beton.

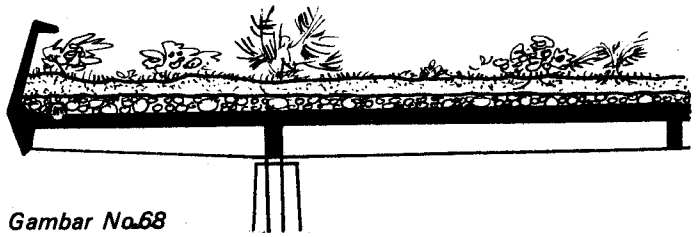
g. Usaha lain ialah, atap yang panas itulah yang dipayungi oleh sesuatu bidang pembayang lain *(Gambar 67)*. Misalnya penutup atap beton yang mudah sekali menjadi sumber radiasi panas, diberi bidang pemayung di atasnya yang tidak rapat air, tetapi cukup rapat sinar. Penting diperhatikan ialah, bahwa antara penutup atap yang sebenarnya dan yang memayunginya harus ada jarak cukup, tidak terlalu lebar dan tidak terlalu sempit. Demikian maka angin yang meniup di antara kedua bagian atap itu menguapkan segala sisa air dan embun di atas atap dan itu menambahkan kesejukan.



Gambar No.67

h. Bila kita memakai langit-langit yang dapat menahan radiasi matahari, maka bahan penutup atap bukanlah menjadi soal. Jikalau kita tidak menghendaki langit-langit demi penghematan misalnya, maka bahan penutup atap jangan dipilih dari bahan yang mudah menyerap panas dan menjadi sumber panas. Bahan sirap misalnya adalah bagus, karena cukup menahan panas. Tetapi pelat seng asbes-semen, genting dan sebagainya memang adalah bahan yang tidak sulit menjadi sumber panas. Beton yang masih cukup tebal masih baik, tetapi selain mahal, sulit dalam pelaksanaannya.

i. Ada kemungkinan baik, namun tidak murah, ialah pembuatan taman sari di atas atap *(Gambar 68)*. Di atas atap beton yang rapat dan tahan air dibuat lapisan tanah biasa yang ditanami rumput dan bunga-bunga. Dari segi tehnik itu tidak sulit dan memang sangat bagus dan berguna. Dan bila seimbang dengan kebutuhan, maka harganya yang mahal bisa "tidak mahal" juga.

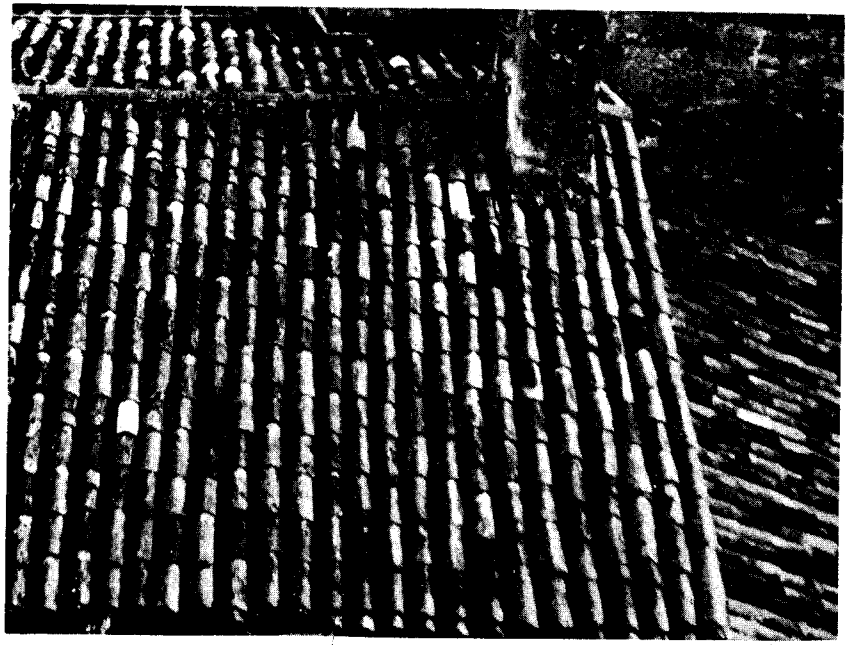


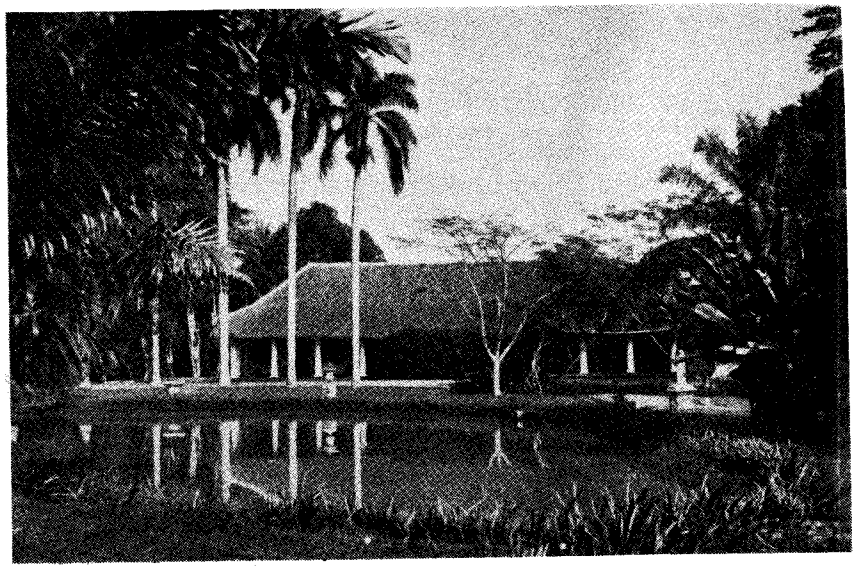
Gambar No.68

j. Bahan yang bagus sebenarnya adalah bahan tradisionil anyaman tebal dari daun kelapa, ilalang, jerami padi atau yang paling bagus: ijuk. Sistim atap semacam itu sangat bagus, membuat sejuk di siang hari dan hangat di malam hari. Kesulitannya datang dari kerepotan serangga dan sebagainya selaku sarang binatang-binatang lainnya, ditambah bahaya kebakaran. Untuk motel, bungalo, atap dari bahan organik semacam itu bagus, walaupun tidak murah lagi.

Beberapa angka pembanding dari derajad suhu di dekat permukaan beberapa bahan yang terkena panas matahari.

Suhu bulanan	*°C*	*untuk Juni*
Aspal	*32,6*	*Bahan bahan ini*
Pasir	*25,9*	*jika ada di bawah*
Tanah	*25,0*	*pohon-pohon*
Krikil	*21,1*	*naung akan*
Tanah berumput	*16,0*	*bersuhu sama*
Tanah lempung	*11,5*	*dengan*
Suhu udara pada jam 12.00	*14,2*	*suhu udara*





Gambar no. 69
Baik tidaknya ventilasi dalam bangunan sangat tergantung dari pengaturan alam/halaman sekeliling. Penanaman pohon-pohon pemberi bayangan sejuk atau bidang bidang kolam berkombinasi dengan lapangan panas menambah perputaran arus udara dari yang sejuk ke yang panas. Demikian ventilasi horisontal di dalam rumah ikut dikembangkan.
Orang orang kolonial dulu pandai sekali memanfaatkan prinsip tersebut didalam tata ruang mereka.

7. KELEMBABAN

7.1. Pengaruh fisik pada manusia

Walaupun suhu di daerah tropik kita biasanya tinggi, akan tetapi tidak begitu terasa sebagai sesuatu yang membuat tubuh merasa tidak enak. Asal diimbangi dengan kenikmatan angin sepoi basa. Maka orang pun suka di tepi pantai, biar suhu rata-rata sangat tinggi, karena angin laut yang mengalir nyaman menetralisir pengaruh panas. Dan biar orang duduk sejuk di bawah bayangan pohon pun, pada hari-hari suram, kapan kabut awan tebal menutupi wilayah, orang merasa sumuk berkeringat dan terkantuk lesu.

Kelesuan sangat terasa pada saat angkasa serba menunggu penyerbuan hujan lebat. Justru sesudah hujan turun dan selama hujan, rasa lesu tadi hilang karena kendati kelembaban udara mencapai hampir 100%, namun itu diimbangi oleh perginya suhu panas dan hawa terasa sejuk. Sesudah hujan hawa tentulah masih sangat lembab, tetapi kecerahan udara memungkinkan lagi kelembaban menguap. Lebih lagi kecerahan matahari di langit bersih menambah suasana seolah-olah orang lahir lagi dalam suatu hidup baru.

b. Kelembaban udara yang nikmat untuk tubuh berkisar sekitar 40-70%. Padahal kita melihat, bahwa kelembaban udara di tempat-tempat di tepi pantai seperti misalnya Jakarta, Ujungpandang, Menado dan sebagainya menunjukkan angka rata-rata setahun kurang lebih 80%. Sedangkan maksimum sampai 98% dan minimum toh masih di atas 70%. Oleh karena itu, dari segi kenikmatan kebasahan udara di kota-kota semacam itu dibutuhkan pengimbangan lain demi rasa comfort tubuh. Dengan kata lain: proses penguapan harus dipercepat. Jika kelembaban udara sudah jenuh, maka tubuh kita tidak bisa menguapkan air keringat lagi.

Penghalangan berkeringat menimbulkan rasa sesak, kotor keringat dan panas, lagi melesukan. Pengontrolan kelembaban hawa dalam rumah biasanya tidak terlalu dibutuhkan. Tetapi di pabrik-pabrik atau kantor-kantor besar, di mana banyak sekali orang bekerja dalam satu ruangan, pengontrolan (alat penunjuk kelembaban: higrometer) menjadi sangat penting. Juga untuk ruangan-ruangan penyimpanan alat-alat serta benda

yang peka terhadap kelembaban (alat-alat elektronik, film, tembakau dan sebagainya).

c. Oleh karena itu, konstruksi maupun tempat peletakan rumah-rumah kita harus benar-benar kering dan mempercepat proses penguapan. Pengeringan dapat dicapai dengan pertolongan pemanasan, terutama dari matahari, tetapi untuk unsur-unsur rumah yang tidak pernah atau tidak lama terkena matahari, pengeringan ditolong oleh penghembusan udara yang mengalir.

Di dalam rumah biasa, alat-alat yang peka kelembaban baiklah disimpan dalam almari dengan lampu listrik yang selalu menyala atau dengan bejana berisi bahan penghisap kelembaban, seperti batu gamping, teh dan sebagainya.

7.2 Ventilasi dan susunan rumah

a. Maka dalil penting dalam cara pembangunan di daerah tropik lembab mengatakan, bahwa kita selalu harus mengusahakan pengaliran hawa udara yang mudah menembus seluruh ruangan dan sebanyak mungkin unsur-unsur bangunan secara terus menerus, agar kelembaban hawa tidak terlalu merusak. Angin sepoi-sepoi dengan kecepatan ± 0,9-9 Km/jam tidaklah mengganggu, bahkan sering dirasakan nikmat.

Ventilasi diperoleh dengan memanfaatkan perbedaan bagian-bagian ruangan yang berbeda suhunya, dan karena itu berbeda tekanan udaranya.

Demikianlah akan mengalir udara dari bagian bertekanan tinggi (dingin) ke bagian yang bertekanan rendah (panas). Hal itu berlaku untuk arah horisontal maupun vertikal. Dalam arah vertikal kita lihat kecenderungan hawa yang menjadi panas untuk mengalir dari bagian yang rendah (yang punya hawa B.J. tinggi) ke bagian yang lebih tinggi, karena dengan pemanasan, BJ-nya berkurang. Dan sebaliknya udara yang mendingin, menjadi lebih besar BJ-nya dan melorot ke bawah.

Begitulah ihtiar kita selalu berpijak pada prinsip bagaimana membuat agar hawa udara dalam ruangan selalu bergerak berkat perbedaan-perbedaan suhu maupun tekanan. *(lihat Gambar 69).*

b. Salah suatu kesulitan memperoleh ventilasi (yang membutuhkan keterbukaan ruang) adalah masalah *serangga,* nyamuk dan sebagainya (yang justru minta ketertutupan ruang). Begitu juga soal tentang masuknya *air hujan* yang terbawa angin. Padahal hujan lebat sering turun pada malam hari pada saat kita ingin tidur dengan hawa segar. Cara yang lazim mencegah masuknya serangga adalah pemasangan tirai/kasa kawat halus pada lubang-lubang dinding dan pemasangan daun jendela/pintu yang berkasa kawat berlubang halus. Kasa kawat bisa dipasang secara luwes dan relatip indah.

c. *Penempatan rumah*

Dari segi kelembaban, pertimbangan penting adalah juga *pemilihan lokasi* bangunan, agar kita jangan selalu terkena kelembaban. Di dalam lembah, terutama pada pagi hari sangatlah kentara, bagaimana kabut penuh kelembaban bersarang di situ lama sekali sebelum kabut menguap oleh sinar matahari. Demikianpun pembangunan rumah di atas sungai atau rawa-rawa tidaklah baik. Khusus yang tinggal di daerah pantai harus ingat, bahwa angin laut selain membawa kelembaban, masih menambah soal juga berupa kadar garam yang tinggi, yang menyusup dan merusak bahan-bahan logam di mana-mana.

d. *Pengaturan ventilasi dalam rumah*

Tadi telah disinggung, bahwa ventilasi udara atau pengaliran udara yang perlahan-lahan namun terus-menerus sangat diperlukan, agar hawa dalam ruangan selalu diganti dengan hawa yang bersih dan sehat. Agar kulit tubuh kita dapat bernapas baik, menguap menurut kebutuhannya.

Dua perkara yang dapat kita bedakan dalam masalah ini ialah pertama,
1) mendapatkan hawa yang sehat bersih.
2) mendapatkan hawa yang nikmat.

Jelaslah, bahwa unsur kesehatan lebih penting daripada sifat kenikmatan.

Sebaiknya kedua-duanya.

7.3 Kebersihan udara dalam ruangan

Kebersihan udara sangat penting, baik demi kesehatan maupun kenikmatan. Udara luar kurang lebih mengandung rata-rata: Oxygen 21%, CO_2 0,03-0,04%, Nitrogen 78%, Gas-gas lain terutama Argon 1% dan 5-25 gr uap air/m^3 udara. Dalam gedung-gedung yang dihuni/dipakai manusia, susunan kadar tersebut tentulah terpengaruh oleh manusia, organisme-organisme lain yang bernapas dan hal-hal lain yang terjadi di situ. Masak memasak di dapur yang menggunakan pembakaran gas-masak misalnya menambah kadar CO_2 dengan 0,6 gr/m^3. Maka pengotoran hawa dalam ruangan dapat disebabkan oleh:

a. Debu gas-gas berbahaya atau kuman-kuman yang beterbangan. Jadi yang benar-benar menyangkut soal kesehatan.

b. Ada gas-gas serta bau-bau lain yang kendati tidak membahayakan, namun membuat tidak enak. Bau keringat, bau dapur ataupun WC dan sebagainya. Biasanya yang dijadikan ukuran sehat dari hawa, diambil dari jumlah prosen kadar gas CO_2 dalam hawa udara. Gas CO_2 antara lain dinafaskan keluar oleh tubuh manusia, sedangkan organisme-organisme manusia membutuhkan zat asam O_2. Karenanya kesegaran hawa serta ke-

sehatannya diukur juga dengan kadar zat asam. *Kadar CO_2* dalam ruangan jangan melebihi 0,1% (di Perancis) atau 0,5% (di USA) untuk daerah industri.

c. Pergantian hawa dapat dikatakan baik, bila untuk ruangan kehidupan keluarga atau kamar-kamar tidur yang bervolume lebih dari 5 m^3/orang, hawa udara dapat diganti sebanyak 15 m^3/orang/jam. Bila volume kurang dari itu, maka pergantian harus lebih cepat lagi, 25 m^3/jam/orang.

Itu berarti, bahwa untuk kamar yang berisi lebih dari 5 m^3/orang, hawa udara dalam ruangan harus bisa diganti 2,5 kali per jam. Jadi semakin kecil ruangan, semakin kerap pula hawa di situ harus diperbaharui.

Tabel di bawah ini menunjukkan beberapa peraturan ventilasi per jam di pelbagai negara.

TABEL I

Pergantian udara per jam

Ruangan	Berapa kali						
	Belgia	Hongaria	Polandia	Swedia	USSR	Perancis	Inggeris
Ruang kediaman	1	1	0,3-1,0			1-1,5	
Dapur		3				3-4	
Kamar-mandi						3	2
W.C.		5				2	2

TABEL II

Berapa m^3/jam seharusnya pergantian udara

Ruang kediaman				45	45		
Dapur					60-90		
Kamar-mandi		25			25		
W.C.					25		

Untuk daerah kita yang tropis lembab harga-harga tersebut di atas harus digandakan 1,5-2 kali.

d. Sebagai tambahan untuk ruangan-ruangan khusus, seumumnya dapat dipakai rumus ini:

$$\text{Efisiensi Ventilasi} = \frac{\text{produksi } CO_2 \text{ per orang}}{\left(\frac{\text{pertambahan kadar } CO_2}{\text{penyediaan udara per orang}}\right)}$$

Bau tubuh orang dapat segera hilang sesudah ± 5 menit atau tak terasa lagi kendati tanpa ventilasi pun. Akan tetapi gas-gas kimia minta 6-7

jam agar bisa pergi tak berbau lagi. Bahkan bau rokok justeru bertembah baunya selama 3 jam pertama. Lalu menurun pelan-pelan dan baru hilang sesudah 17-48 jam.

Bakteria seumumnya tinggal konstan pada tingkat yang sama, dan tak terpengaruh oleh perubahan ventilasi dari 1-1,4 M^3/menit per orang.

Di USA dituntut pergantian udara bersih kira-kira 0,84 M^3/orang/menit (30 cub.ft/orang/menit), berdasarkan penghembusan setiap orang normal 0,17 M^3 CO_2 per jam (0,6 cub.ft).

e. *CO*

Kompor lampu minyak tanah, arang bakar dan sebagainya, selama pembakaran dapat memproduksi CO, yang disebabkan oleh pembakaran tak sempurna. CO sangat berpengaruh pada darah dan dapat bersenyawa dengan haemoglobin darah lebih kuat daripada haemoglobin dengan O_2. Begitu gas CO yang berlebihan mengurangi kadar O_2 yang dibutuhkan tubuh manusia dan menyebabkan penyakit yang disebut asphyxia. Gas CO sudah bekerja sebagai bisa berbahaya pada kadar 0,3%.

Di Perancis kadar maksimum yang diijinkan untuk tempat-tempat kediaman adalah 0,003% sedangkan di USA untuk daerah industri 0,01%.

TABEL III

Pergantian udara bersih tak berbau dalam ruangan dan volume ruangan yang baik

Jenis	arus udara bersih M^3 per menit per orang	volume ruangan M^3 per orang
kantor kecil	0,8	30
kantor besar	0,4	15-20
kamar mandi dan ruangan bermain	0,8	12-15
toko kecil	0,4	12-14
toko besar	0,6	8,5-12
ruangan perundingan	0,7	5,5-7
restoran besar	0,7	8,5-12
restoran kecil	0,8	5,5-8,5
night club/bar/grill	1,2	3-5,5
teater dan ruang pertunjukan	0,4	5,5-8,5
sekolah untuk anak-anak	0,8	5,5-7
sekolah untuk orang dewasa	0,6	5,5-7
rumah sakit: kamar bedah	1,2 ke atas	30 ke atas
kamar pribadi	0,7	21 ke atas
kamar-kamar perawatan	0,8	10,5-14
klinik umum	0,9	5,5-8,5

7.4 Ventilasi horisontal dan ventilasi vertikal

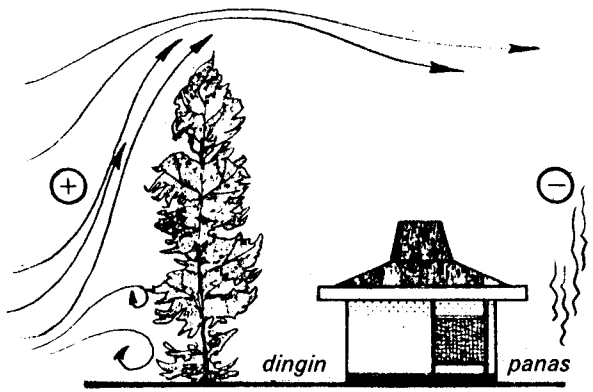
Ventilasi yang paling baik ialah yang berjalan alamiah. Dengan sendirinya tanpa ditolong oleh alat-alat seperti kipas angin dan sebagainya.

Jika ventilasi alamiah tidak dapat berjalan lancar, maka barulah dibutuhkan ventilasi dengan pertolongan alat. Pemakaian alat sering tidak tanpa pengorbanan untuk kesehatan. Bisa menimbulkan sakit "masuk-angin" dan membuat pening dan sebagainya, bila kurang merata dan salah arah. Lagi sebenarnya mahal.

Oleh karena itu kita harus berusaha, agar sedapat mungkin ventilasi timbul secara alamiah, berkat pengaturan konstruksi rumah yang penuh pengertian akan seluk-beluk jalan dan arus udara.

Tadi telah disinggung, bahwa ventilasi mendasarkan diri atas dua prinsip:

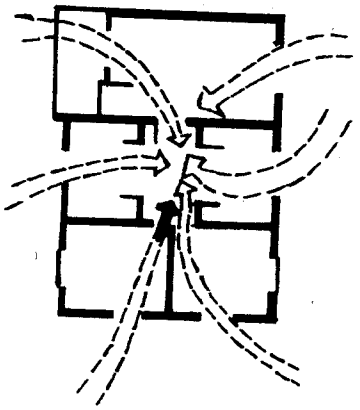
* Udara mengalir dengan sendirinya dari bagian-bagiannya yang bertekanan tinggi ke arah yang bertekanan rendah. Perbedaan tekanan dapat dicapai oleh:
  perbedaan suhu yang – horisontal menimbulkan perbedaan tekanan
  dan vertikal menimbulkan perbedaan berat-jenis.



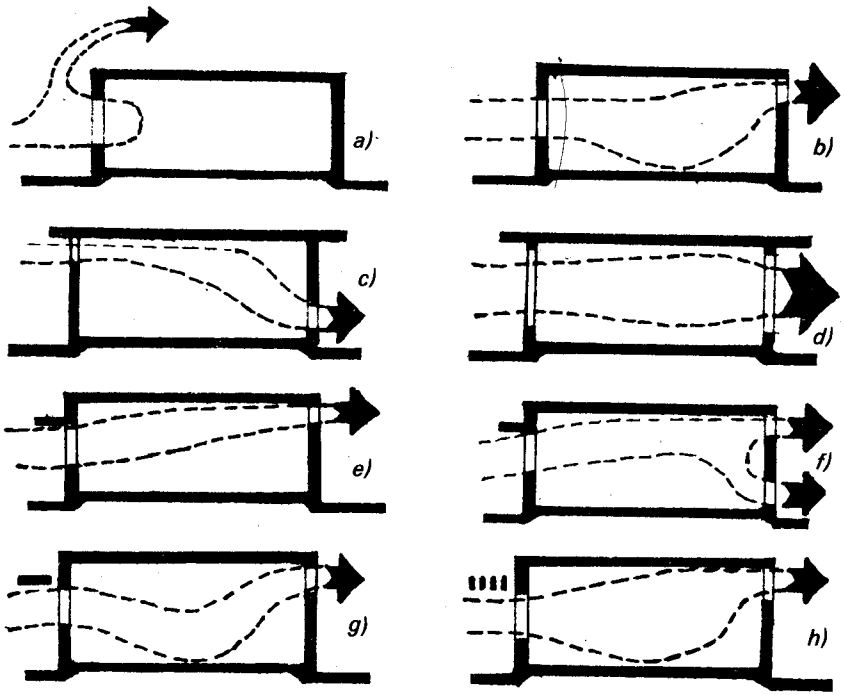
Gambar no. 70

a. *Ventilasi horisontal*

Ventilasi horisontal disebabkan oleh arus angin yang datang horisontal dari pihak sumber angin. Gejala itu bisa timbul bagus, bila *ada sisi rumah yang sengaja kita buat relatip lebih panas dan ada pihak lain yang sejuk.* Misalnya dengan penanaman pohon rindang atau karena sesuatu sisi gedung selalu dalam bayangan, dan sebagainya. *(Gambar 70).* Dalam menyusun tata denah rumah/gedung hal itu harus kita perhatikan. Selain menyelidiki dulu, dari mana arah angin yang paling sering dan kencang, kita mengatur juga, agar ada sisi yang selalu panas dan lainnya yang selalu sejuk sehingga dapat memanfaatkan perbedaan suhu maupun tekanan pada dua sisi itu dengan permanen. *(Gambar 71).*



Gambar no. 71 Dalam ruangan tengah dapat dipasang kipas rotor Savonius untuk mengisap angin, seperti terdapat juga pada atap mobil/bis.
Rotor Savonius dapat berputar pada angin dari segala arah.



Gambar no. 72 Ventilasi silang (horisontal) hasil penelitian dari Texas Engineering Experiment Station.
a. Tak ada arus, karena tak ada jalan keluar.
b. Lubang keluar sama luas dengan lubang masuk. Arus ventilasi baik untuk daerah kedudukan tubuh manusia. Lebih baik bila lubang keluar diperluas.

c. Lubang masuk tinggi, lubang keluar rendah. Menimbulkan kantong udara mogok di bawah lubang masuk, justru pada tempat yang dibutuhkan oleh tubuh.

d. Lubang lubang luas Ventilasi baik sekali.

e. Penambahan lubang keluar tambahan pada situasi e hanya memperbaiki pada daerah tubuh. (f,g).

h. Dengan kasakasa ventilasi lebih dapat diperbaiki lagi.

Demikian juga lubang-lubang ventilasi dalam ruangan harus terdapat pada dinding-dinding yang saling berhadapan. Itu agar arus angin dapat enak menjelajahi ruangan tanpa banyak halangan atau belokan dan dengan kecepatan yang maksimum. Maka tidaklah ada gunanya kita membuat lubang-lubang ventilasi hanya pada dinding-dinding sepihak saja. Angin tidak akan bisa mengalir. Ventilasi horisontal tercapai dengan pembuatan jendela-jendela atau lubang ventilasi yang sedapat mungkin saling berhadapan pada dua sisi bangunan. *(Gambar 72 a, b, c, d, e, f, g, h).*

Pada perumahan desa orang tidak mengenal jendela, tetapi lubang-lubang pada bilik bambu tersebar merata, yang menyebabkan ventilasi pada rumah-rumah desa tradisionil seumumnya sangat segar dan sehat. Hanya sayang mereka masih kurang mengerti, bahwa sinar matahari butuh masuk ke dalam rumah untuk mematikan kuman-kuman dan menyinarkan kesehatan di dalam rumah. Itu disebabkan karena orang desa hampir selalu sudah hidup di luar di alam bebas dan hanya pada sore-malam hari saja mereka menggunakan ruang-ruang dalam. Kebudayaan kehidupan kita di daerah tropik lembab memang sejak dahulu kala selalu serba di luar, di mana ventilasi dan cahaya matahari sangatlah berlimpah.

Karena jendela-jendela harus ditutup pada saatnya, maka untuk malam hari kita masih membutuhkan tambahan lubang-lubang ventilasi lain. Sebaiknya kita mempunyai lubang ventilasi lebih banyak daripada kurang, karena lebih mudahlah menutupi lubang yang berkelebihan daripada menambah kekurangan lubang. Untuk menemukan luas lubang ventilasi yang tepat kita butuhkan, kita mempergunakan pengertian *Ekuivalen luas ventilasi* (A_v).

Ekuivalen luas ventilasi A_v adalah:

luas sesuatu jendela biasa (yang tidak rapat 100% bila ditutup) yang sama luasnya dengan jumlah total dari semua jendela lain maupun lubang-lubang dalam ruangan itu dan yang berhubungan dengan hawa luar.

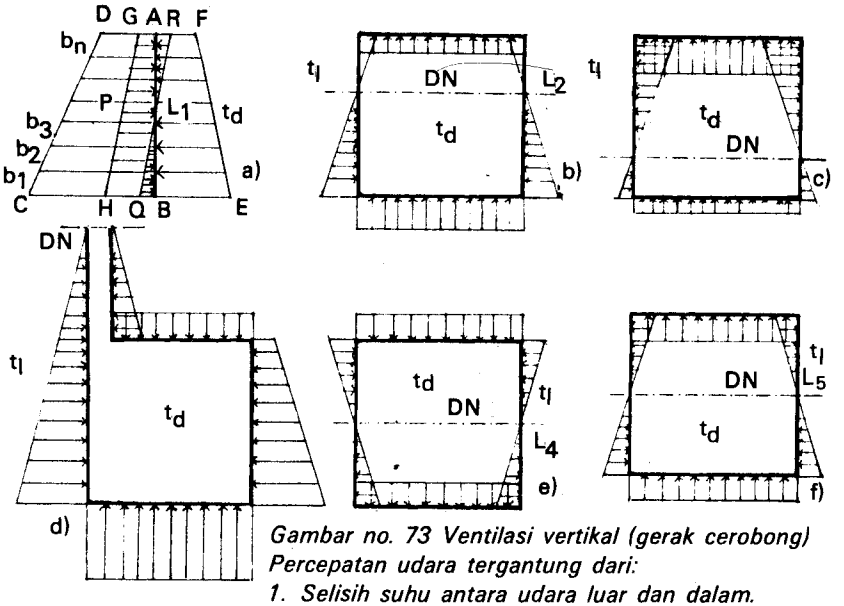
Ekuivalen luas ventilasi tersebut harus dapat menimbulkan ventilasi alamiah biasa seharga dengan ventilasi yang ditimbulkan oleh jendela-jendela atau lubang-lubang lain tersebut.

Sebagai contoh dan pedoman, luas A_v untuk ruangan kehidupan keluarga, ruang makan, ruang tidur dan sebagainya dianggap cukup bila paling sedikit mencapai 1/3 dari luas lantai.

Kamar mandi, WC dan dapur membutuhkan lebih banyak ventilasi. Ukuran 0,5 M^2 untuk ruangan-ruangan itu kiranya sudah cukup. Untuk dapur masih dibutuhkan tambahan lubang-lubang ventilasi yang tinggi, langsung di bawah langit-langit. Karena ventilasi horisontal terutama mengandalkan arah dan tekanan angin luar, maka sebaiknya jendela-jendela atau lubang-lubang ventilasi itu ditempatkan pada sisi yang paling menghisap angin dari dalam ke luar. Terutama untuk KM dan WC dicegah, agar arus yang timbul janganlah menghembus ke dalam rumah, gang dan sebagainya, tetapi ke luar rumah.

b. *Ventilasi vertikal*

Ventilasi vertikal memanfaatkan perbedaan lapisan-lapisan udara (baik di dalam maupun di luar ruangan) yang berselisih berat-jenisnya.



Gambar no. 73 Ventilasi vertikal (gerak cerobong) Percepatan udara tergantung dari:

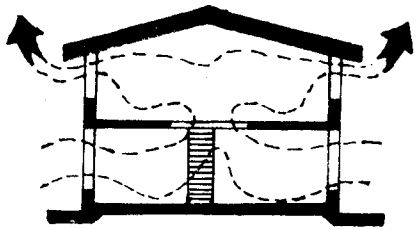
1. Selisih suhu antara udara luar dan dalam.

2. Ukuran dan penempatan lubang keluar udara.

Dalam *Gambar 73* t_l suhu luar, t_d = suhu di dalam ruangan. b_1, b_2 .. b_n menandakan pelbagai lapisan dengan berat jenis berlainan. Hawa udara, di luar maupun di dalam menekan pada dinding yang satu pada sisi luar, yang lain pada sisi dalam. b_l maupun b_d di lapisan-lapisan bawah lebih besar daripada di lapisan-lapisan atas, karena t_l maupun t_d di lapisan-lapisan bawah lebih rendah daripada di atas.

Tetapi pada siang hari t_1 lebih tinggi daripada t_d dan sebaliknya di malam hari. Dari sebab itu tekanan pada dinding pada sisi luar dan dalam akan berlainan juga. Maka gambar trapesium ABCD (menggambarkan tekanan pada sisi luar) tidak sama dan sebangun dengan trapesium tekanan ABEF (menggambarkan tekanan pada sisi dalam) dan berselisih QH. (DG = AF, CH = BE).

Seandainya pada suatu tempat di L dibuat lubang, maka di tempat itulah segera selisih itu hilang dan tekanan luar serta dalam seimbang. Itu berarti, bahwa selisih tadi berkurang dengan harga PL. Garis RQ lalu merupakan selisih pada situasi baru. Dengan kata lain: pada titik lubang L timbullah *daerah netral* (DN). Jika pada tempat-tempat lain dibuat lubang juga L_1, L_2 .. L_n, maka di tempat-tempat itu pun cenderung terbentuk daerah-daerah netral. Jumlah total serta susunan pelbagai daerah netral itu pada prakteknya selalu berubah-ubah dan merupakan bidang yang kompleks. Sebab di mana ada selah-selah kecil pada kosen, lubang kunci atau jendela yang sering ditutup kembali, selalu ada kecenderungan datangnya keseimbangan antara tekanan luar dan dalam serta pembentukan daerah-daerah netral. Perhatikan keadaan dalam *Gambar 73 d.* Di sini terjadi keadaan yang terdapat dalam setiap cerobong. Semakin tinggi letak DN pada cerobong, semakin besar perbedaan tekanan di DN dan dasar ruang. Itu berarti: semakin kuat daya hisapan cerobong.



Gambar no. 73g. Udara mogok di-tempat yang lebih tinggi dari pada lubang keluar.

c. *Kesimpulan-kesimpulan praktis*

Beberapa kesimpulan penting dapat kita tarik:

1) Penempatan lubang-lubang ventilasi hanya pada satu pihak (seperti tadi sudah dikatakan) dari ruangan tidak banyak gunanya. Tidak menimbulkan banyak arus, sesudah keseimbangan di lubang ventilasi itu tercapai.

2) Penempatan lubang-lubang ventilasi di beberapa sisi ruangan yang sama tingginya dari lantai, itu pun tidak menimbulkan arus ventilasi banyak. Daerah netral berposisi sama tinggi dan keadaan daerah tekanan tinggi dan rendah seimbang. Jadi angin berhenti.

3) Maka selalulah diusahakan, agar ketidakseimbangan tekanan selalu timbul. Dengan kata lain: lubang-lubang ventilasi seyogyanya diletakkan:

pada dua pihak dinding yang berhadapan, sehingga arus dapat mengalir melintang seluruh ruangan,
namun pada ketinggian yang *tidak* sama. Berapa selisih ketinggian itu tergantung dari luasnya ruang dan luas total bidang lubang-lubang ventilasi. Dan tergantung dari faktor banyak lain.

4) Itulah sebetulnya prinsip jalannya asap secara alamiah pada cerobong asap, yang dibuat semaksimal mungkin tingginya. *(lihat Gambar 73 d).* Pada ruangan normal, selisih itu selalu disesuaikan dengan kebutuhan. Ingat juga, bahwa lubang ventilasi yang diletakkan di bawah sekali, bisa menimbulkan rasa angin tidak enak pada tubuh kita. Melihat contoh pada gambar No. 73 g kita dapat mencari beberapa kemungkinan pengeterapan prinsip cerobong itu pada sistim ventilasi ruangan-ruangan kita.

5) Arus yang disebabkan oleh ventilasi vertikal dapat ditolong (atau dikacau) oleh arus ventilasi horisontal. Biasanya *kombinasi antara ventilasi vertikal dan horisontallah yang paling baik. (lihat Gambar 73 g).* Dalam *Gambar 73 d)* trapesium tekanan tentulah digambar ekstrim, karena perbedaan tekanan pada lapisan-lapisan hawa udara di dalam ruangan pastilah tidak seberapa. Bisa dicatat juga, bahwa pada siang hari, hawa udara di dalam ruangan (yang dingin) akan bercenderung lari ke luar melalui selah-selah pintu dan lubang-lubang lain di bagian bawah dekat lantai. Sedangkan hawa panas dari luar akan menyusup ke dalam melalui lubang-lubang yang paling atas. Arah tersebut pada malam hari adalah sebaliknya. Hal itu harus kita perhatikan terutama pada ruang-ruang tidur dan ruang lain yang berbatasan dengan bahagian luarnya. Dalam praktek tentulah jalan arus ventilasi lebih berbelit lagi, karena banyak faktor-faktor lain di halaman arus angin luar dan sebagainya ikut berperan.

6) Kecepatan angin yang nikmat dalam ruangan terdapat pada batas-batas kecepatan 0,1 dan 0,15 m/sek. Jangan sekali-kali, demi kesehatan, melebihi 0,5 m/sek atau kurang dari 0,1 m/sek.

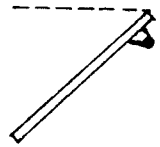
Kecepatan 0,5 m/sek dirasakan tidak enak, terutama oleh orang-orang yang sudah lanjut usia.

Perlu diperhatikan, bahwa semakin rendah suhu udara, semakin perlahan-perlahan juga sebaiknya arus angin diatur. Suhu udara yang mengalir sangat menentukan kesan kenikmatan. Udara yang bergerak bersuhu 30°C dengan kecepatan 0,6 m/sek tidak terasa buruk. Tetapi angin bersuhu 12° sudah terasa tidak enak pada kecepatan 0,15 m/sek. Arus angin yang merayap pada lantai sangat lekas terasa sebagai angin tidak enak dan di pegunungan dingin, arus 0,1 m/sek sudah terasa sangat dingin pada kaki.

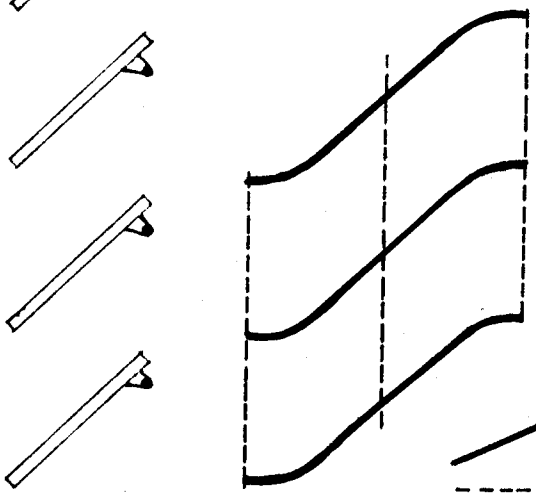
7) Untuk tempat-tempat yang selalu dihembusi angin kencang seperti pada daerah pantai misalnya, angin harus dikendalikan juga dengan

penahan-penahan angin atau *deflektor-deflektor* yang membelokkan arah angin menurut yang kita kehendaki. Bahkan kita manfaatkan. *(lihat Gambar 75 Pasal 7, 6).*

8) Sering kamar harus diamankan dari serangga dan nyamuk karena orang ingin tidur dengan jendela terbuka serba segar, dengan penggunaan kasa (gaas) kawat logam atau plastik selaku kelambu yang dipasang pada daun-daun pintu/jendela khusus. Penggunaan kasa dengan ukuran 16 mesh, 30 gange menyebabkan penurunan arus angin ventilasi 50-60% pada kecepatan angin 2,4-3 Km. per jam dan 25% pada kecepatan angin 16 Km. per jam. Perhatikan juga kemungkinan pemakaian jalusi berbentuk V, yang dapat berputar pada poros vertikal. Jalusi-jalusi jenis itu bekerja "otomatis" dalam pengaturan pemasukan angin, sesuai dengan kencangnya angin *(Gambar 74).*

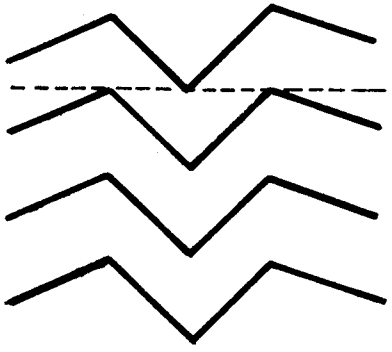


Jenis jalusi ini semuanya mengurangi kecepatan angin yang masuk ruangan.

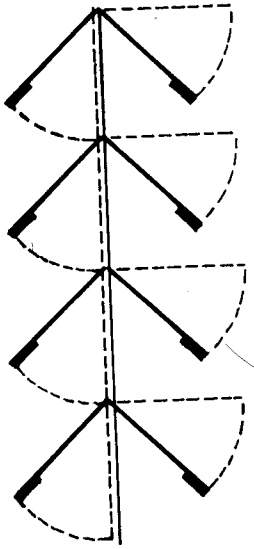


Gambar no. 74a

Gambar no. 74b Jenis j.



Gambar no. 74c. Jenis M yang paling mengerem angin, bila dibanding dengan jenis J dan S. Tetapi harus diusahakan agar air jangan tinggal di "selokan" tengah jalusi.



Gambar no. 74d Jenis V ini dapat berputar pada poros horisontal dan secara otomatis dan luwes mengatur kecepatan angin yang masuk. Dari kecepatan 9-40 km/jam angin dapat di rem menurun menjadi 5-7,5 km/jam.

7.5 Ventilasi buatan dengan kincir

Semakin banyak di masa ini dipakai alat penolong ventilasi berupa baling-baling kincir listrik. Terutama dalam kantor-kantor atau pabrik-pabrik besar, di mana banyak orang berkumpul seruangan padahal hari selalu lembab, terasa kebutuhan alat kincir angin.

Sebenarnya rumah atau gedung yang baik perencanaannya tidak membutuhkan pertolongan khusus dari alat-alat semacam itu, yang akhirnya mahal dalam pemakaian energi dan perawatannya. Akan tetapi memang sering kincir terpaksa digunakan karena sebab-sebab bermacam-macam, antara lain karena banyak bangunan pada awal mula direncanakan untuk keperluan lain dan sekarang dipakai untuk keperluan yang tidak memadai kemampuan ventilasinya. Tetapi walaupun kita memakai kincir, itu pun harus mengindahkan hukum-hukum fisika bangunan, agar hasil alat-alat tersebut mencapai titik optimal. Hal-hal di bawah ini perlu diperhatikan:

a. Maksud kincir angin ialah mengusir hawa yang panas/busuk/lembab ke luar dan menggantikannya dengan hawa yang sejuk/bersih dan dengan kelambaban yang optimal. Ada dua macam kincir angin: dengan sistim baling-baling dan yang lain dengan sistim penyedotan pompa sentrifugal.

Yang penting ialah pemilihan garis tengah baling-baling (gugusan penyedotan hawa) yang setepat-tepatnya.

Pilihlah sedapat mungkin kincir dengan garis tengah selebar mungkin dengan perputaran sedikit mungkin. Arus angin sebaiknya jangan berkonsentrasi pada satu tempat, tetapi sedapat mungkin merata. Semakin be-

sar garis tengah, tentulah semakin besar gugusan penyedotan dan semakin merata. Begitu maka arus angin dibuat tidak besar sehingga tidak mengganggu pekerjaan, sedangkan hasil pergantian M^3 udara per jam tetap tercapai. Selain itu arus yang terlalu cepat dan terkonsentrasi mudah menimbulkan rasa "masuk angin."

b. Kincir harus diletakkan pada tempat yang menguntungkan proses pergantian hawa udara yang harus masuk dan keluar. Peletakan yang betul dan susunan denah dan tingkat-tingkat rumah yang rasionil sangat menghemat jumlah kincir yang dipakai. Sebab, *yang penting bukan jumlah yang harus maksimal, melainkan cukup asal terjadi pergantian hawa yang tepat ukurannya.* Maka hubungan antar ruang yang tepat harus diusahakan. Kendati jumlah fan sedikit, namun arus di seluruh gedung bisa berhasil baik. (Lihat contoh *Gambar 71 a).* Demikian susunan lubang ventilasi dalam gedung antara ruang yang satu dengan yang lain menjadi penting.

c. Perhitungan akan kebutuhan kincir serta kemampuannya dapat dikerjakan atas dasar perhitungan ventilasi yang normal. Lazimnya kincir diukur kemampuannya dengan M^3 udara per jam. (atau kubik feet per menit). Bila dalam suatu ruangan dibutuhkan 30 kali pergantian hawa setiap jam, sedangkan volume ruangan adalah 90 M^3, maka untuk ruangan itu dibutuhkan kincir yang berkapasitas 30.90 = 2.700 M^3/jam.

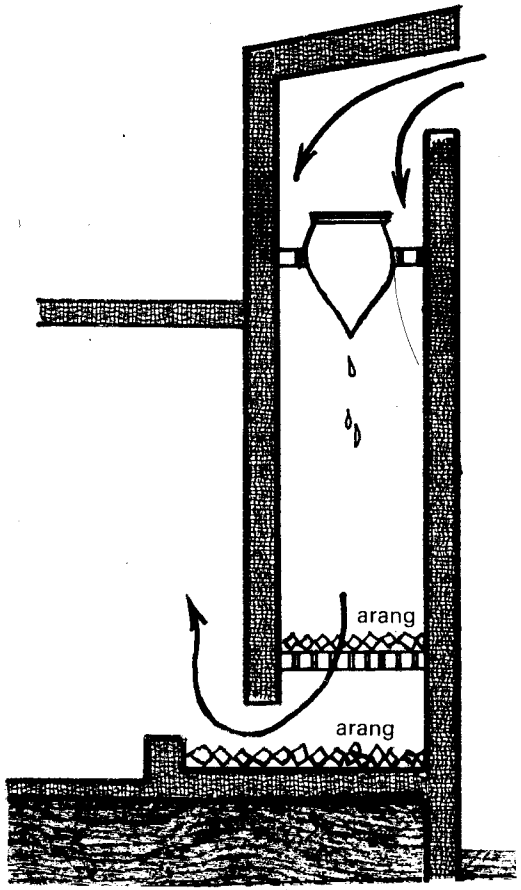
Perhitungan yang tepat secara teoritis sangat sulit, karena situasi setempat sangat berbeda dan banyaklah faktor yang harus ikut diperhitungkan. Biasanya pengalamanlah yang bisa menolong. Secara normal peningkatan lebih tinggi pergantian udara di atas 30-45 kali/jam tidak banyak berpengaruh dalam hal penurunan suhu, kendati bisa berpengaruh baik atas rasa kenikmatan.

d. Pedoman pergantian hawa-udara untuk bermacam-macam ruang. (Standard Inggeris) untuk hawa panas/kering.

Jenis	Pergantian
Km/WC	2 kali/jam
gang-gang, jerambah	1 kali/jam
dapur untuk maksimum 6 orang	2 cu.ft/jam
Ruang utama rumah dan ruang-ruang tidur untuk 300 cu.ft/orang	720 cu.ft/jam
untuk 400 cu.ft/orang	600 cu.ft/jam
untuk 500 cu.ft/orang	420 cu.ft/jam
pantry	2 kali/jam

7.6 **Ventilasi cerobong arang Mesir** *(Gambar no. 75)*

Suatu sistem yang sangat bagus untuk daerah-daerah panas kering di tanahair kita atau perumahan-perumahan di pantai ialah cara yang di-



Gambar No.75

pakai di Mesir dan negeri-negeri padang pasir.

Suatu cerobong dengan lubang di sisi kedatangan angin luar yang permanen menghembus, memasukkan angin luar tadi ke dalam cerobong, dari atas turun ke bawah.

Angin disuruh melewati suatu kerawang dengan arang. Arang itu selalu dibasahi oleh titik-titik air yang menetes dari suatu bejana air sangat berpori. Jadi arang itu berfungsi sebagai filter pembersih udara dan sekaligus mendinginkan hawa udara itu, karena penguapan arang basah tadi.

Ternyata bahwa sistem ini dapat menurunkan suhu luar dengan selisih 7°F. Cara itu baik untuk daerah lembab juga, tetapi lebih baik untuk daerah-daerah kering. Suatu sistem sederhana air-conditioning. Satu-satunya pekerjaan yang diminta ialah mengisi bejana bila sudah kering.

7.7. **Pengaruh tinggi langit-langit**

a. Pasal yang cukup minta perhatian dalam soal ventilasi ialah tinggi langit-langit. Rumah-rumah pribumi asli, terutama istana-istana para bupati dan raja-raja mempunyai volume besar di bawah atap, sehingga di dalam ruangan terasa sejuk. Apa lagi karena ruangan-ruangan tersebut seumumnya serba terbuka. Orang-orang Belanda dulu tahu masalah kebutuhan volume udara di atas kepala kita dan karena itu mereka selalu membangun rumah-rumah, yang kendati serba tertutup dinding, akan tetapi luas jendela dan pintu sangatlah besar, sehingga arus udara sangatlah lancar. Selain itu, tinggi langit-langit dari lantai sangat besar juga. Seumumnya tinggi langit-langit gedung-gedung mereka tidak kurang dari 4 meter, bahkan sering lebih. Tinggi langit-langit dalam rumah-rumah di Eropa biasanya cukup rendah, rata-rata 2,25-2,50 meter. Itu mungkin karena iklim di sama cukup kering. Di tanah-tanah panas tetapi kering seperti di Israel misalnya, tinggi langit-langit rata-rata adalah 3,00 meter. Di Indonesia semakin banyak juga ruang-ruang dengan tinggi langit-langit sekitar 3,00 meter.

Masalah tinggi langit-langit sangat penting dari segi ekonomi biaya bangunan. Terutama untuk gedung-gedung tinggi atau flats, orang berusaha menurunkan tinggi langit-langit seminimum mungkin tanpa merugikan kenikmatan arus ventilasi dan rasa kesegaran hawa udara dalam ruangan.

Untuk gedung tinggi dengan rata-rata ketinggian loteng 2,50-3,00 meter, penurunan langit-langit 10 cm saja sudah bisa menurunkan biaya pembangunan gedung dengan kira-kira 1%. Bila dihitung secara nasional, maka jelaslah bahwa pengurangan ketinggian langit-langit merupakan penghematan modal yang tidak kecil. Ternyata bahwa langit-langit setinggi 2,50 meter tidak kurang memberi kenikmatan udara kamar daripada setinggi 3,00 meter.

b. Namun di sini ikut berbicara beberapa pengaruh juga:

1) Keadaan dan bahan atap mempengaruhi ruang-ruang paling atas. Bahan yang putih dan memantulkan banyak panas dan konstruksi-konstruksi atap yang memungkinkan ventilasi atap sangatlah menguntungkan.

2) Arus Ventilasi dalam kamar harus diusahakan dapat berjalan lancar.

3) Masalah masuknya sinar-sinar panas dari pemantulan benda-benda di luar gedung maupun yang melalui lubang-lubang jendela dan sebagainya harus dikurangi.

4) Faktor bahan serta konstruksi dinding kamar ikut berbicara juga. Warna sisi dinding luar serta daya isolasi dinding terhadap panas tentulah penting.

5) Kedudukan ruangan terhadap akibat dan arah angin di luar menentukan juga.

c. Ternyata bahwa:

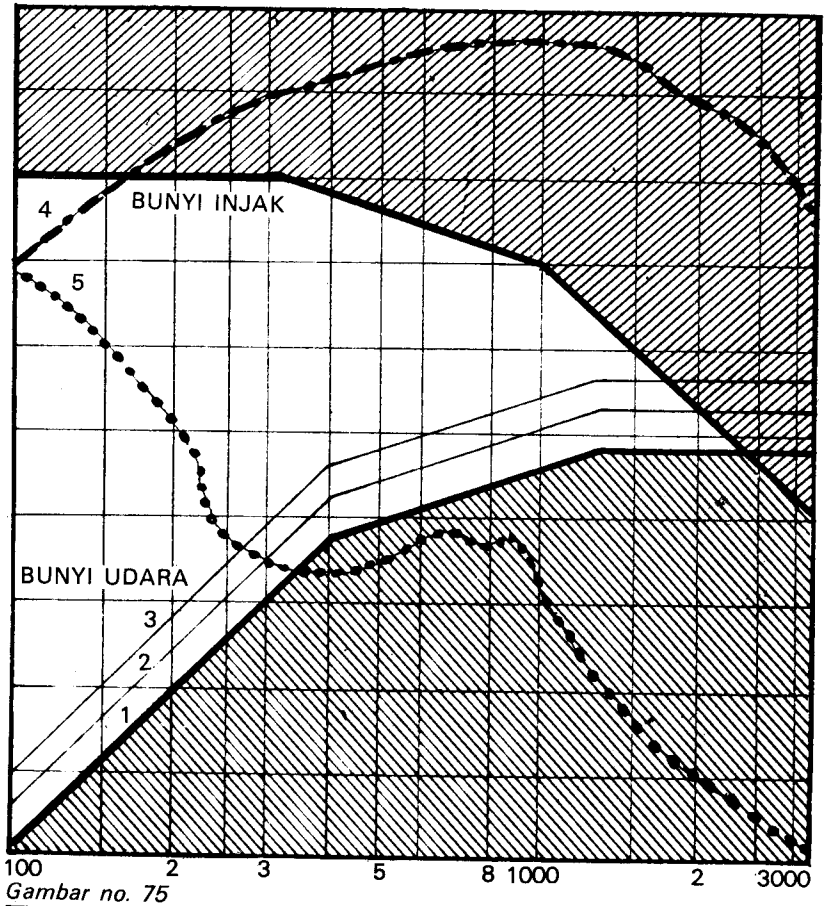
1. Menaikkan tinggi langit-langit untuk ruangan yang normal untuk rumah tinggal lebih dari 3,15 meter sebetulnya tidak perlu, bila itu dilihat dari segi komfort panas. Biarpun ditinggikan penurunan suhu dalam ruangan selalu tidak lebih dari 0,5°F. Itu apabila kita sudah berusaha cukup agar ventilasi lancar.
2. Dalam kota-kota, suhu di ruangan bawah seumumnya lebih panas dari pada loteng-loteng di atasnya. Itu disebabkan karena arus udara di lapisan atas lebih segar dan lancar.
3. Radiasi yang meningkat tidak terdapat pada unit yang paling rendah dibandingkan dengan yang di atas, juga dalam keadaan yang panas. Hal itu mungkin disebabkan karena radiasi dinding unit bawah kurang disinari secara langsung, hal mana mengkompensir kekurangan-kekurangan yang disebabkan oleh naiknya radiasi pada langit-langit yang lebih rendah.
4. Kelembaban relatip di dalam ruangan pada ketinggian 1,20 m tidak terlalu dipengaruhi oleh perbedaan dari tinggi langit-langit.
5. Kerja kipas angin di siang hari mempunyai pengaruh yang kecil pada udara di dalam dan pada suhu yang dihasilkan oleh perbedaan tinggi langit-langit.
6. Ventilasi malam adalah penting selama musim panas, dan bisa menolong mengurangi keadaan suhu di siang hari.
7. Ventilasi siang dalam musim panas (juga ventilasi dengan jalan membuka jalusi-jalusi/ventilator) menaikkan suhu di dalam dan mempercepat kelambanan waktu perembesan kalor ke dalam.
8. Dalam beberapa negara tropik langit-langit yang lebih rendah dipergunakan.

Singapore Improvement Trust telah membangun kurang lebih 3000 buah rumah, dengan langit-langit setinggi 2,40 m (8').

Didapat keterangan bahwa para penghuninya tidak menjumpai kesukaran untuk menyesuaikan diri dalam rumah-rumahnya yang berlangit-langit rendah itu.

Tetapi ingat, bahwa Singapura sebagai pulau nisbi kecil, cukup mendapat hembusan air laut. Oleh karena itu perlu juga diperhatikan kedudukan rumah.

LENGKUNG-LENGKUNG PERSYARATAN ISOLASI BUNYI



Gambar no. 75

Tidak memenuhi syarat untuk isolasi bunyi injak.

Tidak memenuhi syarat untuk isolasi bunyi udara.

Keterangan:

1. *Penilaian dinding di lapangan.*
2. *Penilaian lantai (loteng) di lapangan dan dinding di laboratorium.*
3. *Penilaian lantai (loteng) dalam laboratorium/ (Persyaratan untuk lantai loteng lebih keras daripada untuk dinding. Pengukuran dalam laboratorium lebih keras daripada di lapangan.*
4. *Isolasi faktuil bunyi udara sesuatu bahan memenuhi syarat.*
5. *Isolasi faktuil bunyi injak sesuatu bahan memenuhi syarat.*

8. PERLINDUNGAN TERHADAP GANGGUAN BUNYI

8.0 **Umum**

a. Perkembangan teknik dan daya hidup moderen menyebabkan banyak sekali mesin dan sumber-sumber bunyi lain yang mengganggu pendengaran manusia. Gangguan itu semakin besar, banyak dan tersebar sampai di pelosok. Selain kerusakan-kerusakan pada pendengaran yang dapat membuat telinga tuli, kesehatan manusia pada lapisan vegetatip bisa menderita karenanya. Kerja jantung dan peredaran darah memburuk, lalu daya perut dan pencernaan menurun bersama dengan daya-kerja dan kegembiraan hati yang tidak jarang menimbulkan akibatnya yang sedih. Gangguan bunyi merupakan beban berat untuk jaringan saraf dan bisa merusak hubungan baik antar manusia.

Maka adalah tugas bagi perencana dan pelaksana bangunan untuk menyumbang, agar bangunan-bangunan kita terjadi kwalitasnya perihal perlindungan manusia penghuninya terhadap gangguan-gangguan bunyi. Perlindungan itu tidaklah mungkin akan bisa berhasil penuh, tetapi banyak gangguan bunyi dapat kita kurung, kita usahakan agar diserap hilang, sehingga memuaskan.

Sedangkan mata adalah organ badan yang aktip, telinga menangkap bunyi dan suara apa pun yang datang dan meneruskannya ke/melalui saraf-saraf pendengaran ke organisme tubuh. Itu secara fisik obyektip, orang yang satu lain dari yang lain. Bunyi yang mengganggu subyektip, orang yang satu lain dari yang lain. Bunyi yang mengganggu pendengaran tetapi yang kita buat sendiri biasanya tidak mengganggu kita sendiri. Tetapi hampir selalu mengganggu orang lain.

b. Pemberantasan gangguan bunyi dapat dilakukan *aktip* dan *pasip*. Pemberantasan aktip ialah usaha yang dilakukan langsung pada sumber bunyi itu sendiri, agar jangan menular ke mana-mana. Pemberantasan pasip dilakukan untuk mengurangi loncatan-loncatan gangguan bunyi yang datang dari sesuatu sumber dan yang kita lakukan pada ruangan atau benda yang ingin kita lindungi terhadap gangguan bunyi itu.

c. Yang harus diberantas juga ialah bunyi-bunyi pengganggu yang timbul sebagai akibat bunyi lain, baik pada bahan bangunan maupun pada

cara berkonstruksi unsur-unsur bangunan. Untuk itu perlu kita pelajari *AKUSTIK BANGUNAN.*

d. Akustik bangunan lebih membicarakan soal-soal fisikalis dan teknis mengenai penanganan pemberantasan atau pengurungan gangguan bunyi yang bersifat sehari-hari dalam bangunan-bangunan yang relatip sederhana. Sedangkan *ASKUSTIK RUANG* mengolah soal-soal yang lebih sulit dalam gedung-gedung besar seperti teater, ruang-ruang kuliah, ruang pementasan seni-budaya lain dan sebagainya. Akustik ruang tidak hanya membicarakan perlindungan terhadap gangguan bunyi, tetapi mengatur kwalitas bunyi, keindahan hasil suara dan musik dalam ruangan pementasan, masalah-masalah studio rekaman dan sebagainya.

e. Dapat kita bedakan antara masalah-masalah yang menyangkut KESEHATAN manusia yang dapat terganggu oleh gangguan bunyi dan masalah-masalah KENIKMATAN pendengaran yang kita usahakan berkat cara merencana dan melaksanakan bangunan-bangunan kita. Kesehatan mutlak harus kita capai sedangkan kenikmatan seyogyanya kita ihtiarkan. Kedua-duanya berpautan, meski berlainan kedudukan kepentingannya. Yang akan kita bicarakan selanjutnya adalah soal akustik bangunan.

f. Perlu ditandaskan dari awal, bahwa dalam soal ini, pelaksanaanlah yang praktis akan menentukan baik-buruk pengolahan akustik bangunan. Rencana dan perhitungan sebaik apapun akan sia-sia, bila ternyata pelaksanaan rencana tidak baik. Masalah akustik bangunan sangatlah kompleks dan sulit. Namun kita harus mengetahui inti perkara dan seluk-beluk bunyi, rambatan dan penghantarannya serta perkara-perkara pokok tentang masalah pengendalian gangguan yang datang dari bunyi-bunyi dalam bangunan.

8.1 Beberapa pengertian pokok

Maka sebaiknyalah kita mengulangi beberapa pengertian dari fisika bunyi yang paling pokok.

a. *bunyi:*
gelombang getaran-getaran mekanis dalam udara atau benda padat yang masih bisa ditangkap oleh telinga manusia seumumnya, yakni dalam daerah frekuensi 16-20.000 Hz.

b. *frekuensi (fr.) atau tinggi nada:*
jumlah getaran per sekon atau angka getaran. Dihitung dengan kesatuan Herz (Hz). Satu gelombang getaran dalam 1 sekon = 1 Hz.
riak gelombang:
jarak antara dua titik dari gelombang yang berjalan dalam udara dan yang memiliki tekanan yang sama. Harga panjang gelombang adalah kebalikan dari harga frekuensi (1/Hz).

c. *bunyi udara:* (airborne sound)
bunyi yang berjalan melalui hawa udara dalam ruangan.

d. *bunyi gatra, bunyi benda:*
dalam arti umum: gelombang bunyi yang berjalan melalui benda/zat padat.

e. *bunyi pukul, bunyi sentuh, bunyi kontak:*
bunyi gatra yang dihantarkan oleh benda padat karena suatu pukulan/sentuhan mekanis pada benda padat itu.

f. *bunyi injak:*
bunyi kontak yang khusus digetarkan pada lantai karena injakan kaki, pukulan benda jatuh, pergeseran benda padanya dan sebagainya.

g. *bunyi gangguan/usikan:*
bunyi bising, riuh, gaduh dan sebagainya yang merugikan kesehatan atau mengurangi kenikmatan pendengaran.

8.2 Tingkat bunyi atau desibel

a. Gelombang getaran bunyi menjalankan tekanan getaran (P) pada selaput telinga. Maka getaran pada selaput telinga terdengar melalui saraf-saraf pendengaran kita. Demi pengukuran yang tepat, orang bersepakat untuk mengambil *frekuensi bunyi 1000 Hz* sebagai patokan frekwensi. Bunyi yang paling lemah yang masih bisa ditangkap oleh manusia pada 1000 Hz tadi bertekanan $P_{min} = 0{,}0003$ dyn/cm². Pada frekuensi lain, ternyata P_{min} tersebut berharga lain juga.

Kepekaan telinga terhadap bunyi ternyata ikut ditentukan oleh frekuensi bunyi. Oleh karena itu demi pemudahan perhitungan dipilihlah *frekuensi 1000 Hz* tadi dengan ketentuan tekanan bunyi $P_o = 0{,}0002$ dyn/cm² sebagai patokan dari yang disebut *TINGKAT BUNYI* (N) atau patokan *DESIBEL* (db) atau patokan *AMBANG PENDENGARAN.*

Ternyata lagi, bahwa *PERBANDINGAN antara dua tekanan bunyi yang satu,* P_1 P_o
dan PERBANDINGAN antara dua tekanan bunyi yang lain P_n P_{nn} *oleh telinga selalu terdengar punya SELISIH peningkatan yang teratur.*

Hanya keteraturan itu tidak berbanding lurus, tetapi berbanding *logaritmis.*

$\boxed{N = 20 \log \frac{P_n}{P_{nn}}}$ *Perbandingan logaritmis* tersebut disebut *TINGKAT BUNYI* dan diukur dengan kesatuan yang disebut *desibel.*

b. Ingatlah, bahwa yang disebut tingkat bunyi (N) yang diukur dengan desibel itu jangan disamakan dengan TINGGI bunyi (Nada) yang diukur dengan frekuensi. Juga tidak sama dengan kekerasan atau KENYARINGAN bunyi, yang ditentukan oleh amplitudo dari gelombang bunyi, walaupun ada sangkut-pautnya.

Tingkat bunyi bukan suatu harga mutlak, melainkan harga yang *nisbi,* atau merupakan harga *PERBANDINGAN* antara dua bunyi dengan tekanan bunyi (kenyaringan bunyi) yang berlainan. Patokan pembanding untuk tingkat-tingkat bunyi adalah bunyi dari 1000 Hz tadi dengan tekanan bunyi ambang-pendengaran $P_o = 0{,}0002$ dn/cm².

Jadi jika misalnya ada suatu mesin-bor yang bergetar dengan frekuensi 1000 Hz dan tekanan bunyinya adalah 20 dyn/cm², maka DIBANDING TERHADAP ambang pendengaran patokan tadi:

$$N = 20 \log \frac{20}{0{,}0002} = 20 \log 100.000 = 20 \log 10^5 = 100 \text{ db.}$$

Dengan demikian kita mendapatkan harga-harga perbandingan seperti di bawah ini, yang diungkapkan dengan desibel.

Jikalau: Nisbi terhadap kenyaringan bunyi, semua bunyi naik lipat		*Maka:* tingkat bunyi N naik juga, menjadi		
dengan faktor	atau	20 log n	atau	desibel
2	2^1	1.20 log 2	1 . 6	6
4	2^2	2.20 log 2	2 . 6	12
8	2^3	3.20 log 2	3 . 6	18
dst.				
10	10^1	1.20 log 10	1 . 20	20
100	10^2	2.20 log 10	2 . 20	40
1.000	10^3	3.20 log 10	3 . 20	60
10.000	10^4	4.20 log 10	4 . 20	80
100.000	10^5	5.20 log 10	5 . 20	100
1.000.000	10^6	6.20 log 10	6 . 20	120

c. Pengukuran desibel antara lain sangat penting untuk pernilaian harga isolasi bunyi yang dimiliki sesuatu dinding atau pemisah ruangan (lantai, pintu, panil dan sebagainya). Yang dihitung ialah perbandingan (jadi harga relatip) antara kenyaringan bunyi yang jatuh pada dinding dan yang menerobos melalui dinding itu.

Misalnya: tekanan bunyi mesin dalam suatu ruangan bengkel (berfrekuensi 1.000 Hz) ternyata ada 15 dyn/cm² dan itu yang jatuh pada dinding pemisah bengkel tersebut dari ruangan kantor di sebelahnya. Dalam ruangan kantor ternyata tekanan getaran bunyi yang jelas berasal dari mesin itu adalah 0,015 dyn/cm².

Maka disebutlah, bahwa dinding tersebut punya harga isolasi (I) seharga:

$$20 \log \frac{15}{0{,}015} = 20 \log 10^3 = 20.3 = 60 \text{ db.}$$

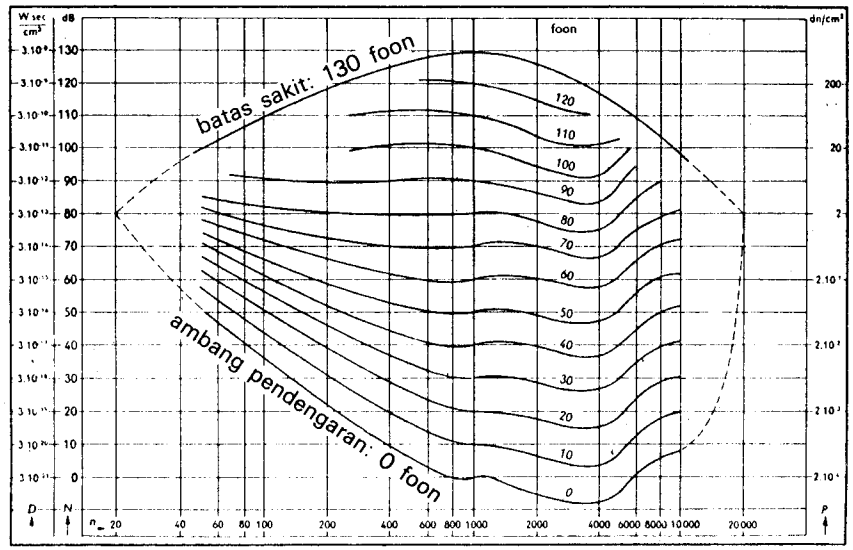
Harga **60 db.** tersebut tidak berubah bagi dinding itu, biarpun kenyaringan di dalam ruangan kedua belah pihak berubah-ubah.

Selama dalam satu perhitungan, frekwensi sama, maka harga $20 \log \frac{P_1}{P_2}$ tadi konstan.

8.3 **Kenyaringan bunyi, pengertian foon**

a. Tetapi ternyata lagi, bahwa telinga kita tidak sama peka terhadap semua nada. Telinga kita paling peka terhadap nada-nada antara 800 dan 6.000 Hz. Untuk nada-nada yang lebih tinggi ataupun rendah, ambang pendengaran terletak pada skala lebih tinggi. *(Gambar no. 76).* Untuk nada c misalnya (131 Hz) ambang itu terdapat pada 30 db.

BATAS-BATAS PENDENGARAN UNTUK TELINGA-TELINGA NORMAL. GARIS-GARIS ISOFON



Gambar no. 76

Dari sebab itu ada kebutuhan akan sesuatu skala lain yang tidak langsung menyangkut ukuran fisik obyektip yang ada pada gelombang getaran bunyi itu sendiri, tetapi yang lebih subyektip mengenai kemampuan

auditip pendengaran telinga manusia. Skala baru itu adalah skala NYARING bunyi dan diukur dengan kesatuan yang disebut *foon* (dari phone). Maka didefinisikan:

Pada setiap nada dengan frekuensi apa pun, ambang pendengaran selalu adalah nol foon.

Atau dapat dikatakan juga: *Pada ambang pendengaran, semua nada dari segala frekuensi diterima sama nyaring oleh telinga, yakni nol foon.*

b. Tetapi harga-harga di luar ambang pendengaran harus selalu memperhatikan pengaruh frekuensi bunyi, sehingga skala foon dan skala desibel tidak sama.

Dari sebab itu disepakatkan, bahwa: *hanya untuk nada-nada yang berfrekuensi 1.000 Hz harga foon dan desibel sama.* Untuk nada 1.000 Hz ambang pendengaran ada pada nol foon dan batas sakit pada kira-kira 130 foon.

Maka hubungan nilai antara foon dan desibel hanya identik pada nada berfrekuensi 1.000 Hz. Pada frekwensi lain kita lihat, bahwa hanya terhadap *TINGKAT BUNYI desibel menunjukkan tangga selisih harga yang sama,* tetapi terhadap *KENYARINGAN-nya, harga desibel berubah-ubah skalanya.*

Demikian juga ukuran foon hanya menunjukkan tangga skala yang teratur terhadap *KENYARINGAN* bunyi, sedangkan terhadap *TINGKAT* bunyi, foon menunjukkan skala yang serba berubah. Itu disebabkan sekali lagi, karena

c. *Foon* adalah kesatuan kenyaringan yang *SUBYEKTIP* diterima oleh telinga manusia. Jadi berdasarkan kemampuan biologis untuk menangkap bunyi. Sedangkan *desibel* adalah kesatuan yang punya dasar *OBYEKTIP FISIK* dan yang berhubungan dengan kekuatan energi bunyi.

d. Selanjutnya, jika kita membicarakan bunyi dalam arti umum atau arti pendengaran, maka kita mempergunakan ukuran foon. Tetapi dalam praktek, orang memakai juga ukuran tingkat bunyi dengan kesatuan desibel. Dari pengukuran praktis ternyata, bahwa: semakin tinggi tingkat bunyi, semakin juga kita menghadapi pertambahan kenyaringan bunyi. Dalam *Gambar 76* masih diperlihatkan juga hubungan harga-harga foon dan desibel dengan kekuatan tekanan bunyi dalam dyn/cm^2. Garis-garis penunjuk hubungan itu disebut *garis-garis isofoon,* (yang tentu saja hanya berlaku untuk nada-nada tunggal, bukan untuk nada-nada majemuk).

8.4 Menanggulangi gangguan bunyi

a. *Bunyi yang mengganggu*

Tidak semua bunyi keras atau gaduh dirasakan sebagai gangguan. Itu tergantung dari perasaan dan kebiasaan kita masing-masing. Antara lain itu tergantung juga dari yang disebut *taraf bunyi ambang.* Bunyi ambang tidak sama dengan ambang pendengaran.

Bunyi ambang adalah bunyi biasa yang ada dalam suatu ruangan, berasal dari bermacam-macam sumber bunyi, baik dari luar maupun dalam; dan yang sudah begitu terbiasa pada kita, sehingga kita sudah tidak lagi merasa terganggu olehnya. Itu tidak berarti, bahwa biarpun kita sudah membiasakan diri dengan kebisingan di pabrik, kebisingan itu tidak berakibat buruk. Kenyaringan di situ tetap tinggi. Bunyi ambang pun harus kita usahakan serendah mungkin.

Disebut bunyi ambang, karena semua bunyi yang masuk ke dalam ruangan dan masih lebih lemah daripada yang sudah terbiasakan itu, tidak akan terdengar. Juga tidak akan mengganggu, meskipun mungkin untuk ruangan lain, dengan ukuran bunyi ambang lain, bunyi-bunyi tambahan itu sudah sangat mengganggu.

Bunyi ambang untuk suatu ruangan dalam rumah normal, sebaiknya jangan melebihi 20-30 foon. Tetapi itu pun masih relatip. Seorang ibu pedagang di pasar dengan banyak anak di rumah mungkin sudah sangat puas dengan bunyi ambang di rumah setinggi 50-70 foon. Sedangkan seorang profesor yang biasanya meneliti dalam laboratorium sudah sangat mengeluh dengan kegaduhan 30-40 foon. Begitu juga transistor dalam kamar tidur sudah sangat mengganggu, padahal dengan kekuatan suara sama hal itu tidak terasa dalam ruangan bersantai.

b. Erat hubungannya dengan bunyi ambang ialah *tingkat gangguan* suatu ruangan. Untuk suatu ruangan perpustakaan tingkat gangguan harus jauh lebih rendah daripada dalam suatu ruangan sport. Tingkat gangguan suatu ruangan adalah tingkat bunyi selama waktu cukup panjang dalam ruangan itu, juga bila dalam ruangan tidak ada orang.

c. Tabel di bawah ini menunjukkan batas maksimal kebisingan dan tingkat gangguan berapa yang dapat terasa oleh seseorang selama melakukan sesuatu. Angka-angka ini tidak mutlak dan hanya dimaksud sebagai suatu gambaran.

tingkat bunyi maksimal untuk frekuensi antara:	40-80 Hz	200-400 Hz	500-1000 Hz	1000-2000 Hz	4000-8000 Hz
tidur tenang masih bisa	60 db	40 db	35 db	30 db	30 db
bicara biasa tak terdengar lagi	70	55	50	45	45
bicara tilpun masih bisa	95	80	75	70	70
batas kebisingan	120	95	80	80	80

d. Selanjutnya kita dapat berpegangan pada batas-batas kemampuan manusia menghadapi beban gangguan bunyi seperti di bawah ini:

Bunyi 30-65 foon yang terus-menerus akan mengganggu selaput-selaput telinga kita, dan dapat mengarah ke kegelisahan psikis (bingung, nervous, peka, letih dan sebagainya).

Bunyi 65-90 foon yang tak henti-henti akan merusak juga lapisan-lapisan kehidupan manusia yang vegetatip (jantung, perputaran darah dan sebagainya).

Bunyi 90-130 foon. Merusak selaput-selaput telinga dan keadaan jiwa manusia, sampai bisa menjadi tuli.

Manusia lama-kelamaan dapat menyesuaikan diri dengan bunyi-bunyi nyaring, akan tetapi hanya dari segi fisik. Telinga membiasakan diri. Akan tetapi dalam jangka tidak lama, akibat gangguan pada kejiwaan akan muncul keluar, reaksi menjadi tumpul dan semangat kerja mengendor. Bahkan sering orang mudah terkejut, takut, bingung, lekas marah dan sebagainya.

8.5 **Isolasi bunyi**

a. Penanggulangan gangguan bunyi dapat dibagi dalam tiga lokasi:

1. pada sumber bunyi itu sendiri
2. pada jalan-jalan yang dilalui bunyi
3. pada benda atau ruang yang harus dilindungi terhadap gangguan bunyi.

Ketiganya menyangkut persoalan:

- pencegahan atau pembatasan resonansi
- peningkatan penyerapan bunyi yang timbul atau datang
- penghalangan jalan-jalan bunyi oleh cara-cara berkonstruksi yang tepat
- pemilihan dan atau pengaturan daerah sekeliling secara betul
- perencanaan denah bangunan yang baik

b. *Pengertian isolasi bunyi*

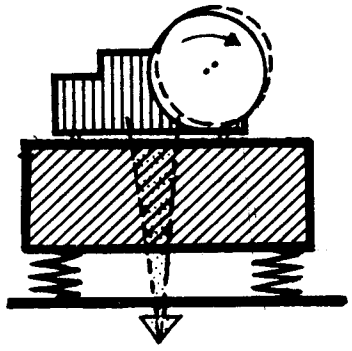
Penanggulan gangguan bunyi bekerja banyak dengan usaha isolasi bunyi. Isolasi berarti pengurungan, pemisahan dari yang lain. Seperti yang kita jumpai pada masalah isolasi panas, kita dapat melihat soal isolasi bunyi dari tiga lokasi:

1) mengisolasi sesuatu yang tidak kita sukai (gangguan bunyi, sumber gangguan) agar tidak menjalar keluar, atau paling sedikit seminimum mungkin.

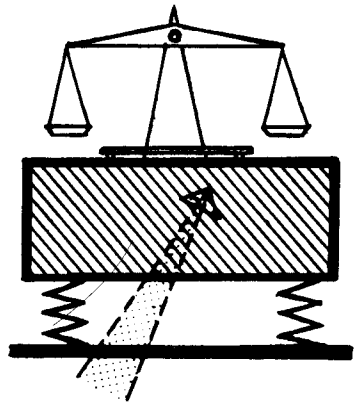
2) mempersukar jalan-jalan penjalaran gangguan bunyi (isolasi'aktip), termasuk usaha agar jalan-jalan penjalaran itu sendiri jangan menjadi sumber bunyi gangguan juga *(Gambar 77)*.

3) melindungi benda-benda (misalnya alat-alat pengukur laboratorium yang halus) atau manusia (yang sakit dalam ruang tidur) terhadap gelombang-gelombang bunyi gangguan dari sumber gangguan. (isolasi pasip) *(Gambar 78)*.

Jadi yang pertama dikenakan pada *SUMBER* gangguan, sedangkan pada yang ketiga dikenakan pada yang harus *DILINDUNGI TERHADAP* bunyi.



Gambar no. 77



Gambar no. 78

c. Sering suatu bahan atau unsur bangunan merupakan bahan isolasi, baik terhadap panas/dingin (isolasi thermis) dan ternyata sekaligus penghalang baik terhadap bunyi (isolasi akustik). Tetapi itu kebetulan. Misalnya bahan kasur. Namun masalah isolasi **thermis** dan isolasi **akustik** jangan dicampur-adukkan seolah-olah satu perkara. Kedua jenis isolasi itu punya persoalan serta hukum-hukum penyelesaian sendiri-sendiri.

d. Isolasi bunyi (seperti telah disinggung pada Pasal 8.2) dinyatakan dengan pengukuran desibel. Yakni: yang menyatakan *perbandingan logaritmis* antara bunyi yang datang pada dinding (atau pemisah ruangan lain) pada sisi yang satu dan yang diteruskan di sisi yang lain.

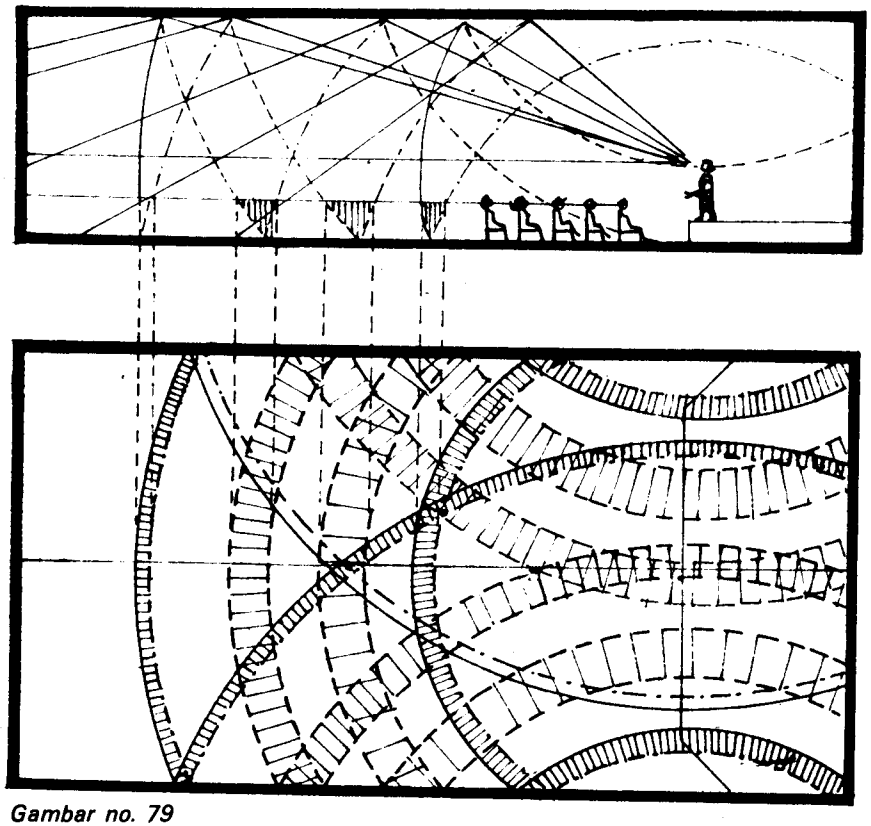
Suatu konstruksi dinding yang punya harga isolasi 40 db, 50 db, 60 db dan sebagainya, berarti, bahwa dari tekanan bunyi yang datang pada sisi yang satu hanya ada sejumlah $1/10^4$, $1/10^5$, $1/10^6$ dan sebagainya yang diteruskan pada sisi lain.

8.6. **Perjalanan bunyi**

Ada dua jalan penjalaran bunyi yang harus kita perhatikan dalam masalah isolasi. Yang pertama melalui *hawa udara* (bunyi udara) dan yang kedua datang melalui *benda-benda padat yang terkena pukulan,* sentuhan, injakan, kegaduhan pada benda (dinding, lantai dan lain-lain) tersebut (bunyi kontak, bunyi pukulan, bunyi injak).

a. *Bunyi udara dan isolasinya*

Jenis isolasi pertama menghadapi bunyi yang datang selaku gelombang-gelombang molekul-molekul udara dan menyentuh dinding. Setiap kali bunyi menyentuh permukaan dinding atau benda-benda lain dalam ruangan, sebagian ditelan oleh dinding dan benda itu dan sebagian lagi dipantulkan kembali *(Gambar 79)*.



Gambar no. 79

Bunyi yang dipantulkan pada saatnya akan menyentuh lagi permukaan benda/dinding itu lagi dan demikianlah seterusnya, sambil kehilangan energi bunyi, setiap kali ia bersentuh. Akhirnya habislah energi bunyi itu.

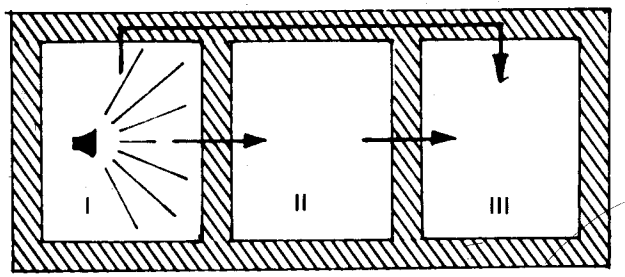
Berapa lama dibutuhkan untuk menghabiskan energi bunyi tergantung dari dua faktor pokok: 1) *berapa kali* ia menyentuh suatu permukaan dan 2) *berapa prosen* dari energi bunyi itu dipantulkan kembali (atau diserap oleh permukaan dinding/benda). Bila ada jendela terbuka, tentulah jendela itu memantulkan nol prosen dari bagian bunyi yang datang pada bidang jendela itu. Tetapi masih ada bagian-bagian bunyi lain yang berputar-putar untuk waktu tertentu dalam ruangan.

Faktor pertama tergantung lagi dari ukuran, bentuk dan volume ruangan.

Faktor kedua tergantung dari jenis dan sifat permukaan dinding/benda yang disentuhnya serta kemampuan pemantulan/penyerapan bunyi permukaan.

Bunyi yang kian-kemari berputar dan terpantul oleh dinding dan lain-lain disebut:

Bunyi kumandang (reverberation sound)



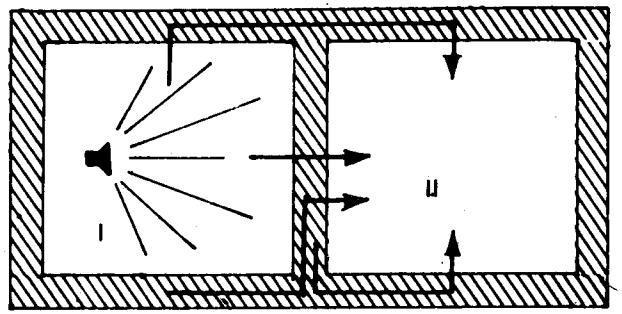
Gambar no. 80

Perhatikan *(Gambar 80)* yang melukiskan skema dua rungan I, II dan III yang dibatasi dinding-dinding di segala pihak.

Seluruh jumlah bunyi kumandang yang menyentuh dinding pemisah antara ruang I dan II berusaha untuk menerobos melalui dinding dari ruang I (sumber bunyi) ke ruang II (ruang penerima bunyi) terus ruang III. Bila dinding itu tergolong dinding ringan dengan kemampuan isolasi kecil (misalnya 35-40 db) atau lebih rendah, maka sebagian terbesar dari bunyi akan memakai jalan langsung melalui hawa udara ke dinding ke ruang I. Jadi sebagai bunyi udara.

b. *Bunyi saluran samping*

Tetapi bila dinding-dinding pemisah itu tebal dan berat, atau merupakan isolator bunyi yang rapat, apalagi bila sumber suara dalam ruangan I sangat keras, bahkan menjalankan pukulan-pukulan langsung pada dinding, maka selain bunyi udara ada bunyi yang memakai jalan lain ke ruang II. Yakni melalui jalan-jalan samping dalam dinding-dinding itu sendiri, lantai dan sebagainya. Bunyi bersaluran samping ada tiga macam *(lihat Gambar 81 a)*.

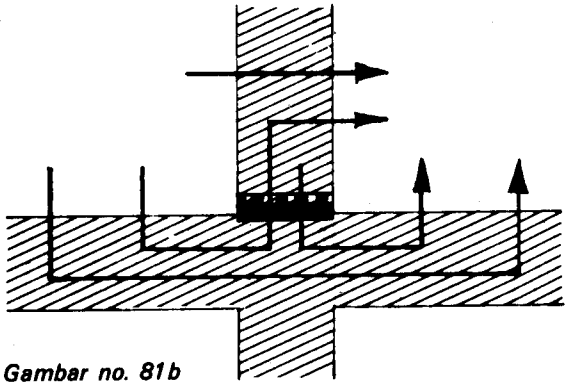


Gambar no. 81

1) bunyi yang jatuh pada permukaan dinding-dinding lain dari ruangan sumber bunyi I (selain dinding pemisah) dan yang berasal dari bunyi kumandang atau pukulan-pukulan langsung dari dinding-dinding dan sebagainya.

2) bunyi yang berasal dari dinding-dinding samping tersebut tetapi yang menjalarkan getaran-getarannya pada dinding pemisah dan dari dinding pemisah baru ke dalam ruangan II dan III.

3) bunyi yang sebaliknya datang justru dari dinding pemisah dan yang menggetarkan dinding-dinding samping ruangan penerima bunyi (II) dan baru diteruskan ke dalam ruangan II, dan III.



Gambar no. 81b

Bunyi yang melalui saluran-saluran samping itu biasanya sangat sulit dihitung maupun diatasi. Banyak faktor-faktor, baik dalam perencanaan konstruksi maupun pelaksanaannya sangat menentukan hasil akhir dari harga isolasi bunyi.

d. Salah satu pertimbangan penting dalam praktek ialah, bahwa dalam masalah isolasi, hasil akhir dan riil dari suatu usaha isolasi bunyi tergantung dan ditentukan oleh tempat yang *paling lemah* isolasinya. Salah suatu bentuk tempat lemah dalam suatu ruangan ialah misalnya pintu ruangan atau lubang ventilasi dan bagian-bagian konstruksi tertentu yang mudah menjadi jembatan getaran-getaran bunyi dari ruang satu ke yang lain.

Dalam rumah, bagian lemah lain ialah misalnya atap. Biarpun pintu jendela rapat dan baik, tetapi atap (yang biasanya penuh berselah-selah genting dan lain-lain serta langit-langit yang tipis atau berlubang ventilasi), merupakan lubang penyelundup bunyi gangguan yang baik. Terutama di alam tropika kita ini, di mana kita sangat membutuhkan lubang-lubang ventilasi yang permanen, soal isolasi bunyi tidak mudah.

Dari sebab itu memang perencanaan denah rumah dan penempatan jendela-jendela pintu dan sebagainya merupakan soal penting. Bila sumber bunyi gangguan justru ada di dalam rumah atau dalam pekarangan rumah yang tertutup pagar-bumi rapat (mesin pompa, mesin mobil dan sebagainya) maka jalan isolasi yang terbaik ialah isolasi aktip, artinya mengisolasi langsung pada barang penyebab bunyi gangguan itu.

Dari jenis bunyi gangguan kontak atau pukulan, ada getaran yang disebut *gempa bangunan,* yakni bunyi gangguan, yang arah pemukulannya berjalan kian-kemari dalam suatu irama getaran yang berjalan cukup lama dan merupakan getaran gangguan mirip dengan gempa bumi, namun lebih lama lagi. Gempa bangunan termasuk gangguan bunyi kontak atau bunyi pukulan yang khusus.

8.7 Getaran/gempa bangunan

a. Sumber getaran dalam rumah sering datang dari langkah kaki pada lantai, benda jatuh, kursi-meja tergeser, pintu menutup keras, pukulan pada meja-kerja yang diteruskan pada lantai, juga penggelontoran pada pipa-pipa air atau terutama jika ada mesin dinamo atau mesin-mesin lain berjalan dan menggetarkan lantai alasnya. Bunyi mereka dihantar melalui lantai, dinding, balok tiang dan sebagainya sebagai saluran-saluran samping. Getaran-getaran kontak semacam itu adalah sebentuk gempa. Bukan gempa bumi melainkan gempa bangunan.

Getaran-getaran gempa bangunan dapat menimbulkan empat macam akibat:

1) — mengakibatkan kerusakan unsur-unsur bangunan.
2) — menimbulkan rasa tidak enak atau sakit.
3) mengganggu kerja, terutama bila orang sedang memakai alat-alat halus.
4) — menimbulkan kegaduhan.

b. Lazimnya dinding-dinding pemisah kurang bisa menahan bunyi-bunyi berfrekuensi rendah. Dari sebab itu, demi praktek dibedakan antara:

- getaran-getaran mekanis dalam unsur-unsur bangunan dari frekuensi 100 Hz-3.200 Hz dengan persoalan-persoalan akustik yang bersangkutan,
- dan getaran-getaran dengan frekuensi dari bawah ambang pendengaran (bunyibunyi infra-sonor) sampai dengan 100 Hz.

Gelombang-gelombang infra-sonor (di bawah 16 Hz) sudah tidak terdengar lagi oleh telinga, tetapi masih bisa berakibat buruk terhadap konstruksi bangunan maupun pada kenikmatan pendengaran manusia.

Pertama karena kebetulan bisa berpadu dengan gelombang-gelombang berfrekuensi tertentu lain. Sehingga menimbulkan getaran yang bisa me-

rusak bangunan, karena beberapa bagian dari satu unsur bangunan tertentu secara kacau bergetar dengan frekwensi berlainan yang tidak dikehendaki.

Kedua, karena meskipun tidak terdengar oleh telinga, gelombang-gelombang infra-sonor masih bisa terasa oleh indera rabaan dan mengganggu rasa aman dan tenang. Terutama untuk mereka yang sedang sakit atau peka sarafnya. Tetapi bagi orang normal pun gelombang-gelombang tersebut dapat mengganggu tidurnya.

Penting diperhatikan ialah juga, apakah getaran-getaran itu kerap terjadi ataukah hanya kadang-kadang. Jika sangat kerap terjadi, orang bisa menjadi terbiasa karenanya dan tidak merasa terganggu lagi.

c. Penyebab gempa bangunan sering adalah gempabumi yang terkenal dan ditakuti itu. Tetapi gempa bangunan biasanya datang dari lalu lintas kendaraan berat, kereta api, mesin-mesin penggerak diesel di bengkel di dekatnya, dapat juga pengaruh getaran angin pada menara tinggi dan sebagainya. Itu dari luar bangunan. Dari dalam bangunan sendiri sumber-sumber gempa datang dari mesin-mesin pompa, derap kaki dalam ruangan sport, latihan menari dan sebagainya.

Penanganan masalah isolasinya sebaiknya langsung ditujukan kepada mesin-mesin itu sendiri atau sumber gempa lainnya. Masalahnya pada mesin ialah, bahwa gerakan berputar dari mesin yang berjalan tidak rata iramanya menimbulkan getaran yang terasa sebagai pukulan kian-kemari.

d. *(lihat Gambar 77, 82)*

Kita bedakan antara: – sumber gempa itu sendiri dan
– alas dasar, tempat mesin itu diletakkan, yang ikut bergetar dengan mesin (resonator).

8.8 Penanggulangan gangguan getaran bunyi

a. Prinsip pokok dari ihtiar memberantas atau mengurangi akibat gangguan gempa bangunan yang ditimbulkan oleh sumber gempa itu ialah: melenyapkan atau mengurangi amplitudo dari suatu frekuensi tertentu yang merupakan komponen bunyi-bunyi yang datang maupun keluar menurut kehendak kita. Usaha agar frekuensi getaran diri sendiri dari resonator yang menanggapi frekuensi getaran sumber bunyi dibuat lebih rendah atau lebih tinggi menurut kehendak kita, sehingga menguntungkan.

Oleh karena itu dari segi pertimbangan frekuensi ada dua situasi yang menghendaki dua macam penyaringan gelombang tersebut (atau kombinasi dari keduanya).

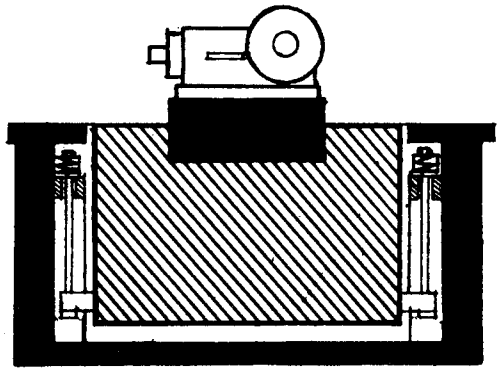
Jika resonator dikehendaki ikut bergetar bersama sumber getaran dengan frekuensi diri-sendiri yang lebih rendah dari frekuensi sumber,

maka usaha kita mengarah kepada yang disebut: *Penyesuaian rendah*. Jika sebaliknya yang terjadi, maka itu disebut: *Penyesuaian tinggi*.

b. Dari pihak sumber-gangguan, yakni mesin selalu diminta, agar frekuensi yang dimilikinya disesuaikan dengan tujuan atau sifat penggunaan bangunan. Dalam rumah sakit modern misalnya sering dipakai mesin-mesin pelayanan yang memilih frekuensi sangat rendah (sampai perputaran 600 per menit, artinya hanya 10 Hz) sehingga praktis tidak terdengar getarannya. Jadi frekuensi dipilih serendah mungkin.

Tetapi meskipun frekuensi rendah, perputaran bisa mengganggu jika jalannya perputaran tidak teratur rata dan tenang. Untuk itu digunakan roda-gendeng yang berat dan besar (dalam contoh rumah sakit tadi bahkan ada yang menggunakan roda-gendeng dengan garis tengah 5 meter).

c. Tetapi sering kurang cukup, karena bunyi-bunyi berfrekuensi rendah atau yang infra-sonor masih perlu ditahan. Maka *resonatorlah* yang harus digarap. Tugas pengaturan resonator ialah, agar ia mampu untuk menelan gelombang-gelombang yang tidak diinginkan menjalar. Ia berfungsi sebagai penyaring frekuensi berkat massa berat yang dimilikinya. Semakin berat dan besar massa dari resonator, semakin "malas" ia untuk ikut bergetar dan jika ikut bergetar sekali pun, ia hanya bergetar dengan frekuensi diri sendiri yang sangat rendah. Tubuh mesin itu sendiri yang tidak berputar harus dibuat cukup berat sehingga mengurangi penjalaran frekuensi-frekuensi yang mengganggu. Dengan demikian resonator yang berat akan menelan banyak energi getaran gempa benda sehingga getaran-getaran yang masih bocor keluar sudah sangat dikurangi.



Gambar no. 82

d. Bila massa dari resonator masih kurang mencukupi permintaan, maka pertolongan masih dapat diperoleh dari pemakaian *pir-pir baja* atau *pendukung/alas dari bahan elastis*. Prinsip pir atau bahan elastis adalah

penyaringan juga dari frekuensi-frekuensi yang masih lolos dari saringan resonator *(lihat Gambar 77, 82)*. Pir yang lembek digunakan untuk penyesuaian rendah dan pir-pir yang keras untuk penyesuaian yang tinggi.

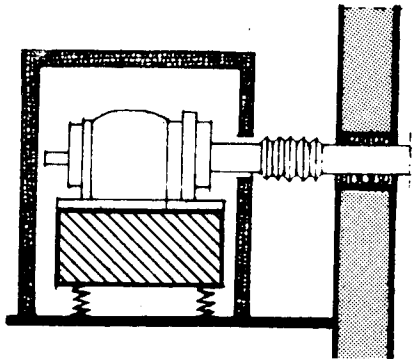
Alas dasar (resonator) tubuh mesin dan pir-pir merupakan suatu sistem yang ikut bergetar dengan frekuensi-diri-sendiri yang bisa diatur menurut kebutuhan penyesuaian rendah atau pun penyesuaian tinggi.

e. Untuk sumber getaran dengan *frekuensi tinggi* (1.500/menit ke atas) yang menimbulkan hantaman-hantaman relatip sedikit dan perputaran sangat merata tenang, sudah cukuplah orang memakai fondasi biasa saja yang diletakkan pada dasar tanah (atau dengan dasaran lapisan bahan elastis).

Untuk *frekuensi menengah* (500-1.500/menit) diperlukan fondasi dengan massa yang berat dan yang diletakkan pada sistem pir lembek. Maksudnya agar berkat resonator maupun pir panjang gelombang yang lolos masuk ke dasar tanah atau lantai sesuai dengan yang kita kehendaki dan amplitudonya kecil.

Untuk *frekuensi rendah* (sampai 500/menit) yang menimbulkan getaran hantaman tak sangat merata-tenang, justru keadaan terbalik. Alas dibuat ringan, tetapi kuat (plat beton baja tipis atau berongga) dan diletakkan di atas pir-pir yang keras. Maksudnya, agar frekuensi resonansi diri sendiri alas justru mengambil angka getaran yang lebih tinggi dari sumber bunyi. Pir keras berfungsi menjauhkan jarak antara frekuensi asli dengan frekuensi yang tersaring. Di sini berlaku penyesuaian tinggi.

Tetapi bila kita menghadapi mesin yang sangat berat dan keras bunyinya, maka tetap dibutuhkan blok resonator yang berat dan pir-pir lunak. Alas besar berat itu disebut blok penenang. Diusahakan, agar frekuensi-diri-sendiri dari blok penenang jangan melebihi harga 1/5-1/3 dari frekuensi terendah dari sumber bunyi.



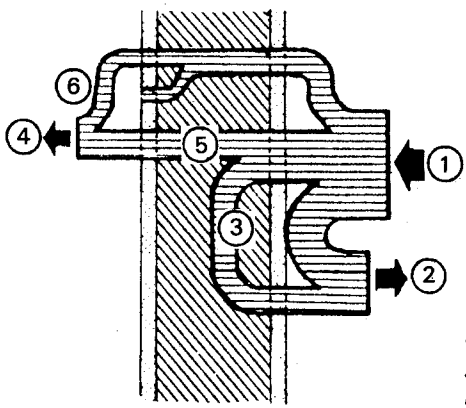
Gambar no. 83

f. Hal-hal di atas berlaku juga dalam usaha isolasi bunyi *perlindungan pasip* yang ditrapkan pada alat-alat halus (timbangan dalam laboratorium dan sebagainya) yang juga harus mendapatkan penyaringan gelombang-gelombang yang menyentuhnya. Demikian juga pada unsur-unsur bangunan lain (pipa-pipa WC, pipa-pipa leideng dari pompa mesin dan sebagainya lihat *Gambar 83)* yang harus diisolasi aktip. Prinsip diturunkan frekuensinya seminimum mungkin mendekati ambang pendengaran. Pipa-pipa dan benda-benda sumber getaran itu dikurung langsung, sehingga penjalarannya sudah dipenggal pada awal perjalanannya.

Pantulan bunyi, serapan bunyi dan resonansi bunyi

g. Dari pengamatan jalan-jalan gelombang bunyi, tak sulitlah dipahami bahwa perihal penanggulan bunyi pada perjalanannya itu, ada tiga hal yang perlu kita perhatikan: yakni masalah pemantulan bunyi, serapan dan resonansi bunyi *(Gambar 84 juga 81 b)*.

Dengan kata lain: kita harus menambah pemantulan bunyi, menambah serapan bunyi dan mengurangi resonansi bunyi, sehingga bunyi tidak terlalu menjalar. Dan tentulah mencari kombinasi dari ketiga unsur itu secara sebaik-baiknya. Sebab, ternyata permintaan dari segi yang satu sering berlawanan dengan tuntutan segi yang lain.



Gambar no. 84 Getaran bunyi, 1 Yang masuk dinding, sebagian dipantul kembali (2) sebagai pantulan permukaan maupun sebagai gelombang getaran resonansi yang dikembalikan oleh bahan dinding (3). Hanya sebagian kecil keluar ke sisi sebelah (4) baik sebagai penerusan langsung dari getaran yang masuk (5), maupun sebagai hasil getaran resonansi dinding terhadap bunyi yang masuk (6).

h. Pemantulan akan mencapai angka tinggi, bila permukaan sisi, di mana bunyi datang menyentuh dinding adalah permukaan yang keras, licin tidak berpori, bagaikan cermin.

i. Tetapi penyerapan akan mencapai maksimum, bila bahan dinding justru adalah sangat lembek, bersifat serabut bagaikan kasur misalnya, banyak berpori.

Tetapi dari pertimbangan lain, pori-pori bisa menjadi penghantar bunyi udara yang baik dan mengurangi kemampuan isolasi. Jika pori-pori kita

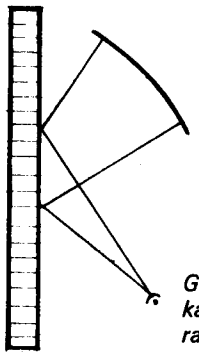
kecilkan dan bahan menjadi sangat padat, maka kepadatan bahan itupun bisa menjadi penghantar bunyi yang baik. Berapa andil pori dan bahan padat dalam penyaluran bunyi sangat sulit diketahui sebelumnya.

Demikian juga resonansi akan berkurang, bila bahan dinding sangat lembek dan berserabut.

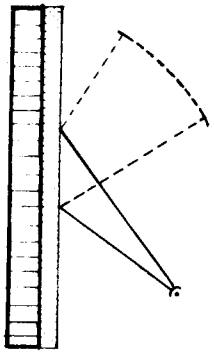
d. Oleh karena itu masalah isolasi merupakan soal yang cukup rumit dan hanya dapat berhasil melalui percobaan-percobaan banyak dan pengukurannya hanya bisa dengan alat-alat serta metode yang tinggi. Selain itu harus ikut dipertimbangkan juga segi ekonomi dalam hal pemilihan bahan dan cara konstruksi yang dipilih dalam hubungannya dengan tujuan penggunaannya.

8.9 Pantulan bunyi

a. Pantulan yang baik dapat tercapai oleh permukaan yang keras, licin. Tidak beda dari cara pantulan sinar-sinar cahaya pada cermin. Akan tetapi perlu diperhatikan juga, bahwa bahan-bahan punya perangai masing-masing. Ada yang lebih mudah memantulkan bunyi-bunyi berfrekuensi tinggi ada yang lebih mudah memantulkan bagian-bagian gelombang berfrekuensi rendah. Itu tergantung dari ciri-ciri dan susunan permukaan bahan dinding. Masalah pantulan sangat erat dengan masalah jumlah bunyi yang tidak dipantulkan kembali, karena dari bunyi yang datang, sebagian dipantulkan dan sebagian lain ditelan. Artinya semakin sedikit bunyi yang dipantulkan, semakin banyak yang masuk dalam dinding. Begitupun sebaliknya *(lihat Gambar 85 a, b)*.



Gambar no.85a Bunyi dipantulkan banyak oleh permukaan keras-licin



Gambar no.85b Gelombang-gelombang bunyi diserap oleh permukaan lunak/berserabut, berpori besar.

b. Sistem yang dipakai oleh pelat-pelat akustik yang beredar di pasaran, demikianpun bahan serta susunannya sangatlah bermacam-macam. Dan biasanya mahal harganya. Sebenarnya kita bisa membuat sendiri pelat-pelat akustik penyerap bunyi itu, apalagi bila yang kita butuhkan tidaklah begitu banyak. Betapapun banyak ragam pelat-pelat akustik itu,

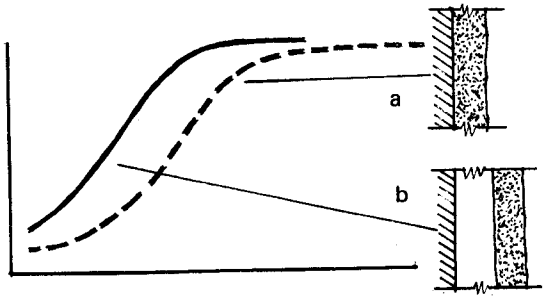
namun sebenarnya prinsip pokok yang mereka pakai hanyalah dua tadi: yakni

1) yang mempergunakan prinsip serapan bunyi berdasarkan pengubahan energi bunyi ke dalam energi kalor, dan

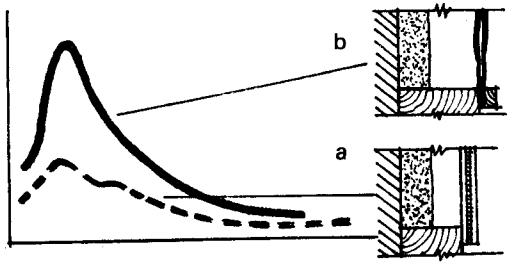
2) yang berdasarkan pengubahan bunyi energi ke dalam energi mekanis (resonator).

Dan tentulah banyak yang merupakan campuran dari kedua prinsip tadi.

c. Dari sebab itu hal-hal inilah yang perlu kita perhatikan. Bila kita menghendaki, agar di dalam ruangan bunyi dan kebisingan dikurangi sekali, maka kita harus berusaha, agar bunyi pantulan yang dikembalikan oleh dinding-dinding, lantai atau langit-langit dikurangi. Dengan kata lain: pilihlah bahan dinding, lantai atau langit-langit yang lunak permukaannya. Atau lebih tepat: pilihlah bahan yang kurang kepadatannya *(lihat Gambar 85)*. Sebab, *semakin padat bangunan, semakin keras ia dan banyaklah bunyi yang dipantul kembali.* Oleh karena itu akustik ruangan-ruangan gedung-gedung modern sekarang, yang banyak memakai bahan beton, sampai plesteran dinding-dinding dibuat dari beton, sangatlah buruk. Sedangkan bunyi-bunyi dalam ruangan berdinding kayu atau bambu sangatlah merdu dan empuk bila didengar. Jadi semakin lunak, semakin berbentuk serabut dan banyak berpori, bahan semakin banyak menyerap bunyi, dan semakin sedikit mengembalikan bunyi ke dalam ruangan *(lihat: Gambar 86)*.



Gambar no. 86a Kurva a menunjukan kurva penyerapan yang kurang dibanding dengan kurva b. Ternyata bantalan udara pada konstruksi b menambah daya penyerapan pada lapisan tersebut.



Gambar no. 86b Membran a lebih keras/kaku daripada selaput b. Ternyata banyak energi mekanis getaran telah diserap oleh bahan lunak dari selaput b.

8.10 Serapan energi bunyi dan resonansi bunyi

d. *Nilai atau derajad serap bunyi*

Kemampuan bahan untuk menyerap disebut *nilai atau derajad serap bunyi* dan dinyatakan dengan kesatuan *Sab* atau biasanya ditulis *Sab* (dari ahli akustik *W.C. Sabine)*. Harga kemampuan serap bunyi atau derajad serap bunyi suatu bahan ialah:

Perbandingan antara energi yang tidak dipantulkan kembali dan energi bunyi keseluruhan yang datang. Jadi merupakan koefisien atau harga prosentasie. Atau dengan sebutan lain: ialah harga yang mengatakan berapa % dari energi bunyi yang datang diubah menjadi energi kalor atau dihantarkan terus, sehingga tidak dipantul kembali. Oleh karena itu derajad pantulan ditambah derajad serap bunyi = 1. Akan tetapi perumusan di atas sebetulnya tidaklah sangat tepat, sebab ternyata ada gejala-gejala lain yang ikut berbicara.

e. Ternyata bahwa faktor perlawanan terhadap arus gelombang bunyi (disebut juga *Ohm akustis,* analog dengan perlawanan arus listrik yang dihitung dengan kesatuan *Ohm*) ikut mempengaruhi derajad serap bunyi itu. Dan *Ohm akustis* itu pun masih tergantung juga dari kepadatan bahan serta kecepatan penjalaran bunyi di dalam bahan.

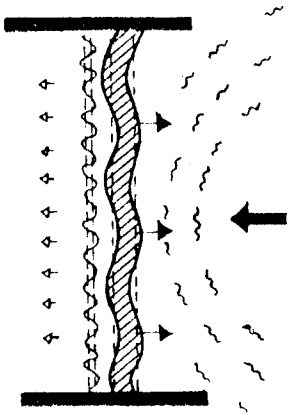
Hawa-udara misalnya mempunyai kepadatan rata-rata 0,0012
dan kecepatan penjalaran bunyi dalam hawa-udara
adalah 340 m/sek. Perlawanan akustis = 41,5 Ohm ak.

Tetapi baja punya kepadatan 7,8 dan kecepatan penjalaran bunyi di dalam baja
Sangat tinggi, dari 5100-7400 m/dt.
Perlawanan akustis = 3.900.000 Ohm ak.

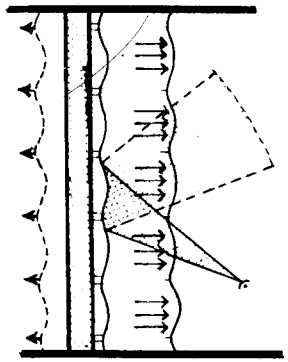
Ternyata juga, bahwa baja memantulkan 99,998% dari bunyi yang datang padanya. Tetapi dari pengamatan yang lebih teliti, permasalahan tidak hanya terdapat pada satu bahan (yang terkena bunyi), tetapi pada *selisih antara perlawanan gelombang bunyi oleh dua bahan perantara.* Semakin kecil selisih itu, semakin kecil juga pemantulan. Dari sebab itu bahan penyerap yang baik ialah yang memiliki Ohm akustis yang mendekati hawa-udara punya. Dan karenanya, bahan penyerap biasanya ringan elastis dan mengandung gelembung atau rongga-rongga udara banyak.

f. Akan tetapi karena frekuensi bunyi bukan merupakan suatu keadaan tunggal melainkan percampuran dari sekian banyak nada dengan frekwensi-frekwensi yang berlainan, maka yang penting ialah gugusan harga harga serap bunyi itu dari frekuensi rendah sampai yang tinggi. Maka praktis kita harus mengukur gugusan harga yang merupakan suatu kurva (lengkung statistis) antara batas frekuensi-yang penting, yakni antara 100 Hz sampai dengan 3200 Hz. (Dengan panjang gelombang antara 10 cm dan 3 meter). Semakin panjang gelombang yang harus diserap, semakin tebal juga seharusnya lapisan penyerap. Akan tetapi hal itu praktis terbatas sekali, karena kita hanya bisa memakai penyerap-penyerap setebal beberapa cm saja. Dari sebab itu pentinglah bagi kita untuk mengetahui, gelombang-gelombang dengan frekuensi tertentu dalam satu ruangan harus kita serap sebanyak-banyaknya dan yang lain tidak perlu.

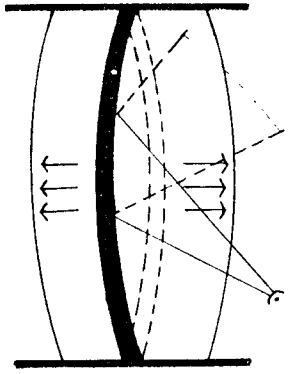
Ada penyerap yang bagus dan tepat untuk menyerap gelombang-gelombang pendek (nada-nada tinggi) dan ada lain yang tepat untuk menyerap gelombang-gelombang panjang (nada-nada rendah) atau menengah *(lihat Gambar 87, 88).*



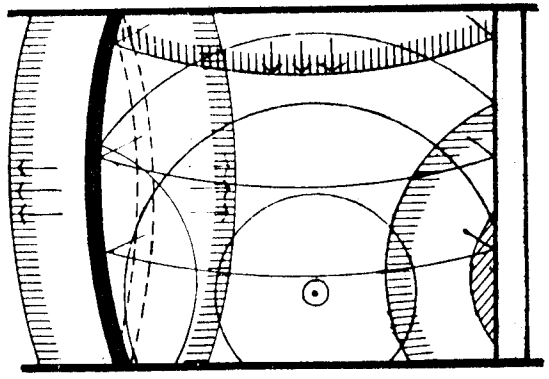
Gambar no. 87a



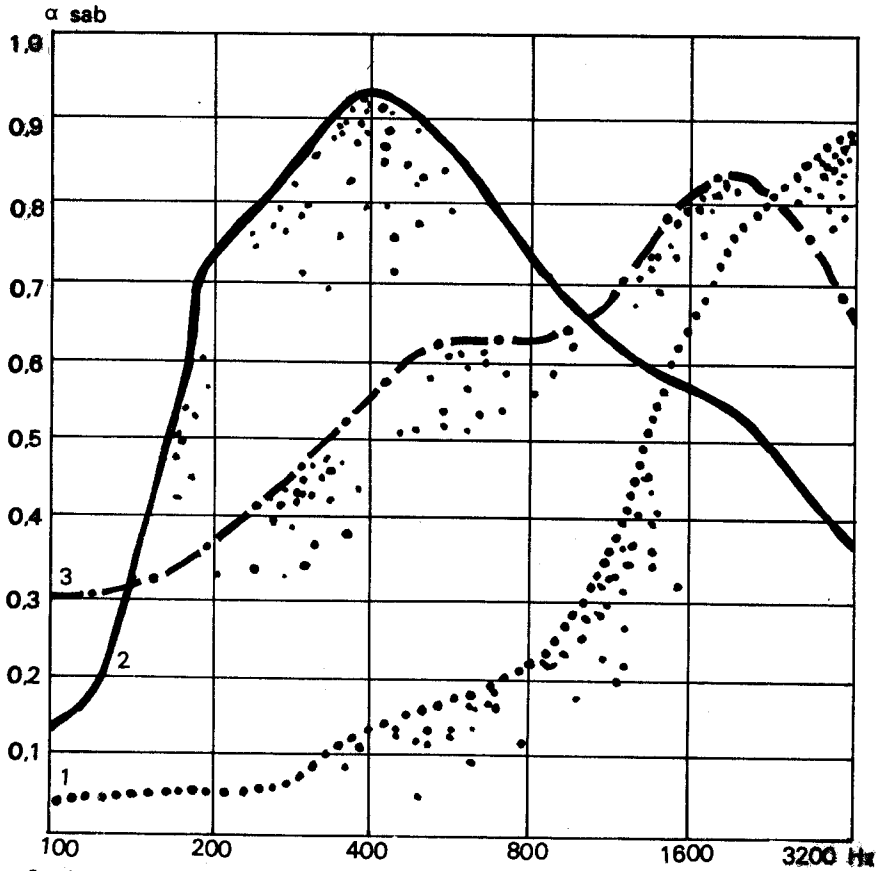
Gambar no. 87b



Gambar no. 87c



Gambar no. 87d



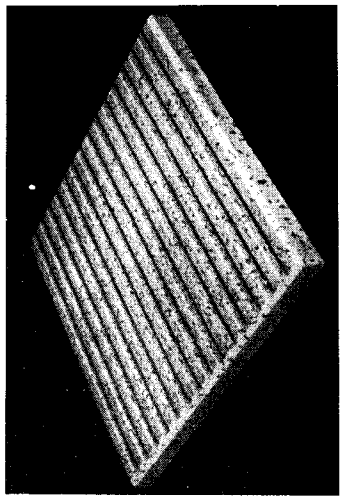
Gambar No. 88: Setiap Konstruksi punya lengkung ciri sendiri yang menunjukkan derajad bunyi mereka (ordinat tegak) dihitung dari 0—1,0 sab untuk pelbagai tinggi frekuensi (ordinat datar) dihitung biasanya dari 100—3200 Hz.
Dari lengkung itu tampak, bagaimana reaksi suatu konstruksi atau bahan dari segi daya serapannya terhadap setiap frekuensi. Dalam kurva gambar No. 88 ini, tampak bahwa lengkung 1 tidak banyak menyerap bunyi yang bernada rendah.
Bidang diagram di bawah lengkung (jadi yang berbintik-bintik) menyatakan bagian bunyi yang terserap. Tetapi pada nada-nada tinggi (mulai dengan 800 Hz) bahan ini (porella setebal 1 cm) sangat menyerap bunyi. Bahan sejenis ini disebut: bahan peresap nada tinggi. Lengkung 2 kebalikannya, sangat menyerap nada-nada rendah. Maksimal pada 400 Hz (bahannya: pelat bergelombang serba berlubang dari perlit). Nada-nada relatip tinggi tidak begitu diserapnya. Bahan ini disebut penyerap nada rendah. Sedangkan bahan ke 3 (lantai loteng berlapis majemuk berisi bahan-bahan penyerap rupa-rupa) merupakan perpaduan penyerap nada tinggi, menengah dan rendah. Penyerap nada tinggi biasanya bahan berpori halus dan daya serapnya tergantung dari jumlah dan susunan isi pori. Semakin banyak porinya, jadi semakin kecil B.J.-nya, semakin penyerap baik. Penyerap nada-nada sedang dan rendah biasanya mudah bergetar, jadi mudah mengubah energi mekanis. Biasanya dikombinasi dengan bantalan udara dan jarang memang dipergunakan sendirian. Seumumnya disertai dengan bahan-bahan penyerap nada-nada tinggi. Daya penyerapnya sangat tergantung dari kemampuannya untuk bergetar dan beresonansi.

8.11 **Kemampuan membendung gelombang bunyi**

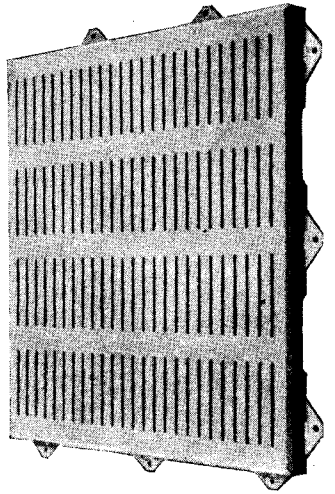
a. Tetapi ingat bahwa bahan yang menyerap bunyi secara bagus tetap tidak bisa membendung atau menghalang-halangi arus penjalaran gelombang-gelombang bunyi. Jadi orang tidak bisa melindungi suatu ruangan dari kebisingan ruangan tetangga dengan pemasangan pelat-pelat penyerap bunyi belaka. Dibanding dengan semua bahan, yang paling istimewa adalah kayu. Kayu terdiri dari sel-sel besar dan kecil yang satu sama lain tumbuh lekat, sehingga rongga-rongga kayu banyak mengubah energi bunyi menjadi energi gesekan/kalor. Tetapi kayu cukup padat dan elastis juga untuk berfungsi sebagai menbran resonator yang memungkinkan pemantulan bunyi. Kombinasi daya serap dan daya resonansi serta penghalangan bunyi-bunyi yang begitu bagus tidaklah terdapat pada bahan-bahan organik lain atau logam. Demikianlah banyak sekali alat-alat musik serta penyempurnaan daya akustik ruangan-ruangan teater, studio musik dan sebagainya hanya mempergunakan kayu. Juga kayu menjawab pengolahan gelombang-gelombang dari yang berfrekwensi cukup tinggi sampai yang rendah, dan karenanya sampai kini merupakan bahan paling ideal bagi penyelesaian masalah akustik.

b. *Penyerap nada-nada tinggi*

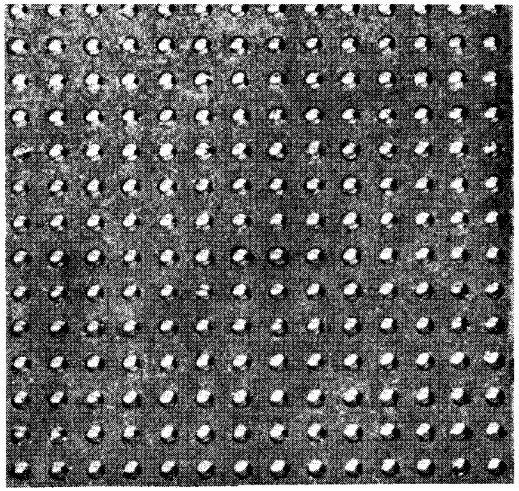
Penyerap nada-nada tinggi adalah bahan-bahan yang mengandung banyak hawa udara atau berpori-pori lembut. (serabut gelas, serabut kayu, bahan-bahan organik sekaman kayu, serabut kelapa, merang-jerami dan bahan sintetis berbentuk busa seperti novolan, stiropor, mol-



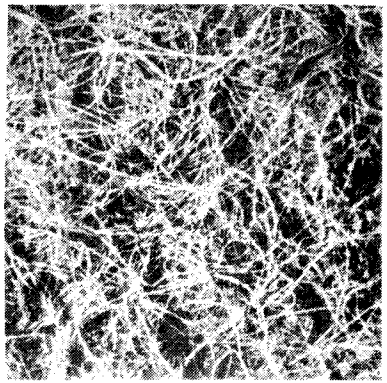
Gambar no. 89a



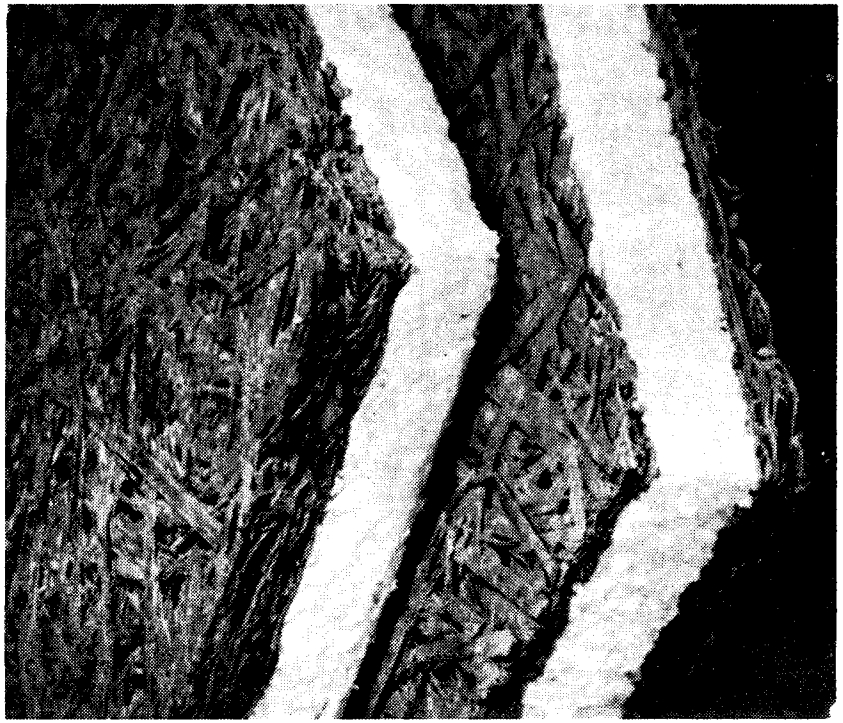
Gambar no. 89 b



Gambar no. 89c

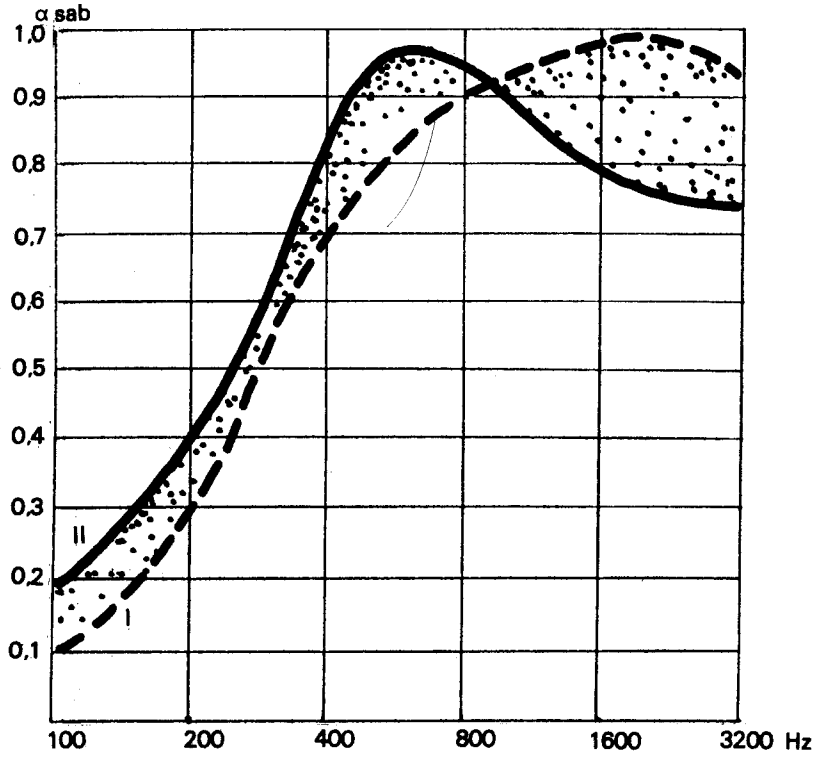


Gambar no. 89 d



Gambar no. 89e

topren dan batu-batu apung, vermikulit perlit dan sebagainya. Semakin berpori semakin ringanlah bahan dan semakin bagus ia selaku penyerap nada-nada tinggi. *(Gambar 89a-e; 93).* ***Proses penyerapan nada-nada tinggi (frekuensi tinggi, jadi gelombang pendek) adalah perubahan energi bunyi menjadi energi kalor.*** Hawa-hawa udara menjadi medium bunyi saling bergesek dan mengeluarkan panas. Demikian gelombang bunyi semakin "tercekik". (Lihat selanjutnya diagram-diagram dari no. 90 sampai no. *94*



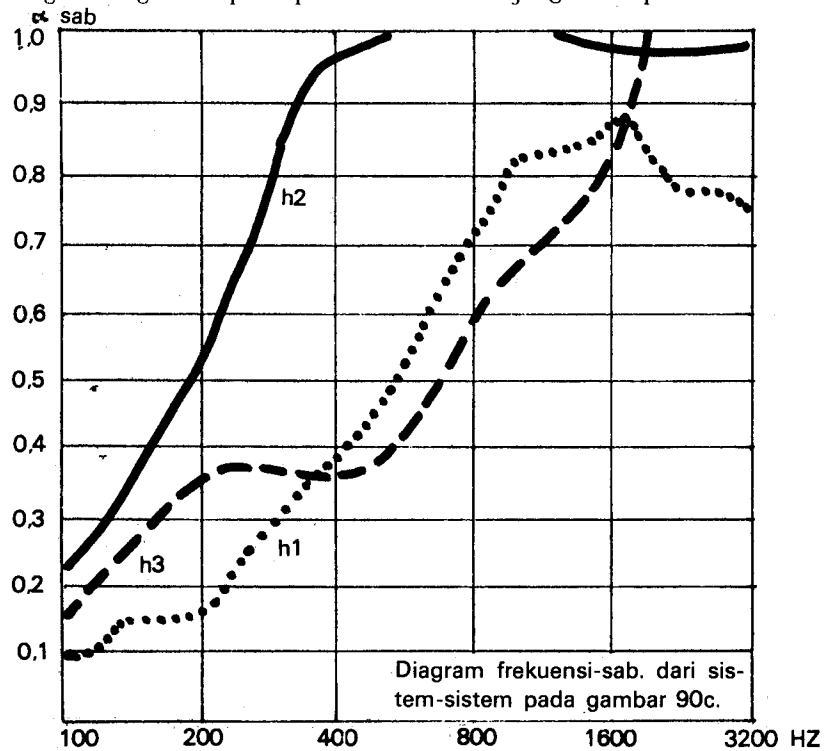
Gambar no. 90 a Selaput bekerja sebagai resonator. Dalam gambar dinyatakan sifat ciri suatu selaput 0,15 mm dari bahan plastik lunak (PVC). Kurva I: selaput ditegangkan berjarak 6 cm dari dinding. Kurva II menunjukan hasil selaput itu, sesudah ruangan antara selaput dan dinding diisi dengan serabut gelas.

Tampak sistim ke II lebih berhasil menyerap nada-nada rendah dan tengah, tetapi karena selaput tidak lagi bisa bergetar seperti semula, nada-nada tinggi kurang terserap.

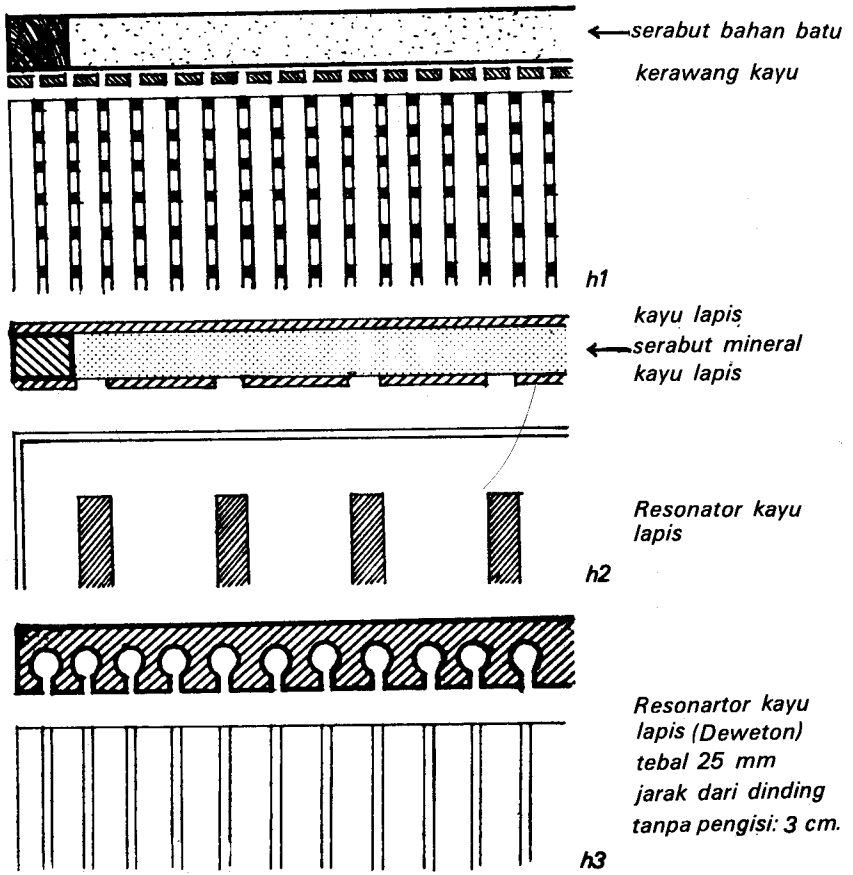
c. *Penyerap nada-nada menengah dan rendah*

Penyerap nada-nada menengah dan rendah biasanya dikombinasi dengan penyerap nada-nada tinggi *(gambar no. 90). Penyerap nada-nada menengah dan rendah (Gelombang panjang) bekerja pada prinsip pengubahan energi bunyi ke energi mekanis, yaitu gerak getaran suatu selaput, membran atau pelat yang relatip tipis* tetapi padat dan karenanya bisa bergetar segiat mungkin, sehingga banyak energi bunyi diubah menjadi getaran selaput/resonator. Dari sebab itu bahan yang dipakai seumumnya adalah pelat-pelat tipis atau kulit tipis yang elastis dan karenanya mudah bergendang. (lihat selanjutnya Pasal 8.14, (gambar 86 b). Ingatlah pelat-pelat dan selaput-selaput itu harus dipasang cukup bebas, artinya harus bisa bergetar seleluasa mungkin.

Karena angka-angka frekuensi diri sendiri pelat-pelat resonator itu kebanyakan ada dalam daerah frekuensi menengah atau rendah, maka gelombang-gelombang berfrekuensi menengah dan rendahlah yang banyak "tertangkap" dan diubah menjadi energi mekanis. Tetapi karena getaran-getaran pelat-pelat resonator itu jangan sampai ikut menam-



Gambar no. 90b



Gambar no.90c. Beberapa bentuk pengetrapan prinsip, rongga atau botol pada beberapa konstruksi pelat akustik. Perhatikan jalannya kurva-kurva h1, h2, h3 dalam reaksi mereka terhadap bermacam-macam tinggi frekuensi.

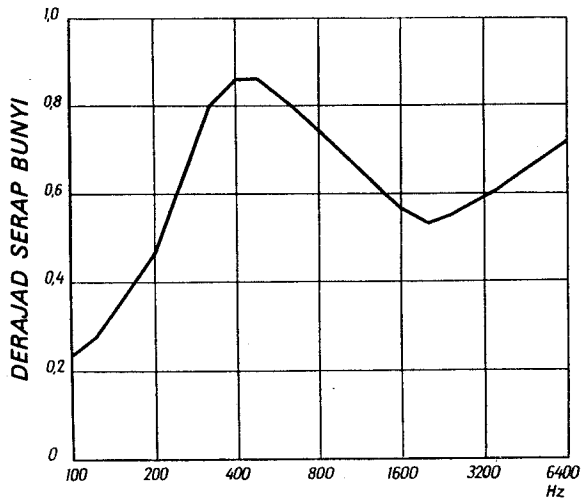
bah bunyi, maka di belakang pelat atau selaput kita pasang lapisan bantalan hawa udara atau bahan-bahan penyerap bunyi. Maka untuk menangkap kembali getaran-getaran bunyi yang diresonansikan oleh pelat-pelat itu, pelat-pelat diberi lubang banyak.

d. Cara lain ialah membuat susunan leher botol (lihat Pasal 8.14c) yang menambah pengubahan energi bunyi ke energi panas dan mekanis. Maksudnya hanya menambah luas bidang sentuh bahan terhadap bunyi yang datang dan yang bisa diserap. Tetapi pelat-pelat jenis itu hanya bekerja baik, jika tidak dicat atau dilapisi apa pun yang justru menutup lubang-lubang atau legokan-legokannya. Pori-pori harus tetap terbuka.

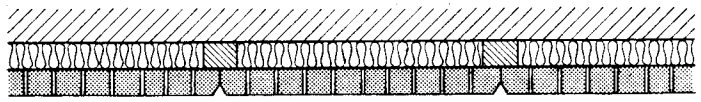
Selaku bahan resonator banyak dipakai kayu. Tetapi jenis lain kita temukan juga, yang terbuat dari bahan dengan permukaan yang licin dan keras, seperti aluminium, semen asbes, hard-board, plastik dan sebagainya. Yang mudah memantulkan kembali beberapa gelombang dengan frekwensi tertentu. Pelat-pelat itu berlubang banyak dan di belakang lubang terdapat bahan serabut yang sangat banyak rongga dan berpori.

Pelat-pelat jenis ini baik untuk menyerap bunyi berfrekwensi menengah. Tebal bahan penyerap sebaiknya minimum 5 cm dan terbuat dari bahan-bahan berpori terbuka seperti serabut ijuk kelapa, serabut gelas, busa bahan sintetis dan sebagainya. Di daerah tropik perlu ditambah bahan-bahan yang sanggup menghalau serangga dan binatang-binatang kecil lain. Hal ini memang suatu masalah yang tidak mudah. Dalam soal ini sebaiknyalah bila perencanaan bangunan sudah begitu rupa, sehingga isolasi terhadap binatang-binatang itu sudah kita laksanakan di luar, sehingga seluruh bangunan relatip sudah bebas dari serangga.

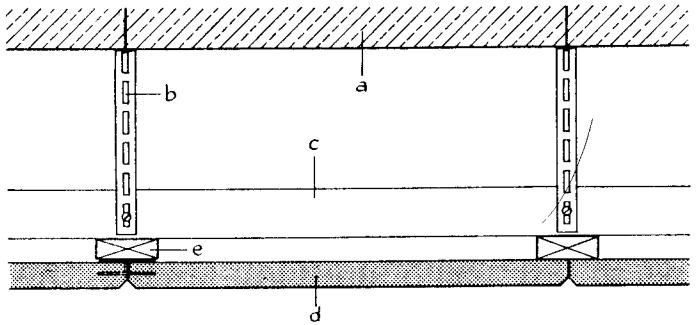
e. Pada pelat-pelat akustik berkualitas tinggi, antara pelat penutup yang berlubang tadi dengan bahan penyerap di belakang masih diberi anyaman halus untuk mencegah perusakan atau jatuhnya bahan-bahan serabut tadi. Sekali gus menahan serangga (lihat selanjutnya Pasal 8.14) *(gambar 91)*.



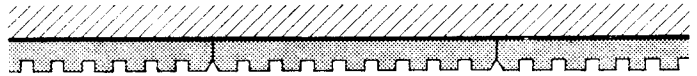
Gambar no. 91. Konstruksi dengan bahan busa sintetis Syropor ternyata bahwa pada frekuensi sekitar 400 Hz ia mengisolasi/menyerap paling efektip.



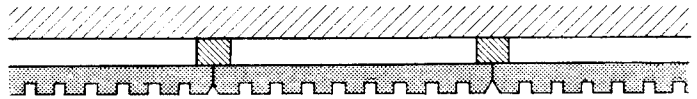
Gambar no. 91a Di belakang pelat-pelat akustik berlubang, dalam rongga antara pelat dan dinding diberi selaput penyerap yang baik. Bunyi diserap penuh.



Gambar no. 91b Cara penggantungan langit-langit pelat akustik yang bekerja sebagai penyerap.



Gambar no. 91c Pelat-pelat akustik langsung pada dinding. Bunyi hanya diperlunak.



Gambar no. 91d Pelat-pelat dipasang dengan berjarak dari dinding. Bunyi diperlunak dan sebagian diserap.

Di daerah kita yang lembab masih penting juga mengindahkan masalah *kondensasi uap udara* di dalam rongga-rongga itu Maka dari segi kondensasi, pelat logam seperti aluminium yang lekas mendingin dan menumbuhkan bintik-bintik air kondensasi kurang baik daripada bahan misalnya hard-board atau tripleks kayu. Tetapi hard-board sendiri adalah bahan yang mudah menyerap kelembaban udara dan menggelombang buruk.

Masalah kelembaban masih perlu diteliti dalam metode berkonstruksi pelat-pelat akustik untuk kawasan kita. Agaknya sampai sekarang, tidak ada bahan yang mengalahkan kayu ditinjau dari banyak segi pertimbangan kwalitas. Asal kayu kering. Bambu pun merupakan bahan akustik yang luar biasa bagusnya, karena dalam bentuk lampit atau tikar bambu, prinsip resonator tadi sudah ditemukan secara alamiah, sehingga pembuatan khusus lubang-lubang sempit sebetulnya sudah tidak perlu lagi. Terutama bila dilihat susunan bahan bambu sendiri (kulit relatip keras dan daging kayu relatip lunak) bambu punya hari depan besar dalam pemecahan persoalan akustik bangunan-bangunan kita.

8.12 **Isolasi dinding**

Pengetrapan isolasi dinding pemisah terbagi dalam dua keadaan konstruksinya: yakni

= yang berlapis tunggal dan

= yang berlapis majemuk.

a. *dinding berlapis tunggal*

Isolasi bunyi oleh dinding berlapis tunggal tergantung dari tiga unsur:

1) volume dinding dan beratnya
2) jumlah pori-pori di dalamnya (kepadatan)
3) kekakuan lentur

b. Dari pengalaman sehari-hari tidak sulit dicatat, semakin dinding pemisah tebal dan berat, semakin sulit pula bunyi dari ruang yang satu merembes ke ruang yang lain. Dari penelitian yang seksama ternyata bahwa kemampuan isolasi bunyi dapat dikatakan berbanding lurus dengan massa persatuan luas dinding pemisah. Harga isolasi desibel berjalan lurus dengan massa-massa benda penahan bunyi.

Menurut perhitungan *Rayleigh,* hubungan antara massa dinding dan kemampuan isolasinya terhadap bunyi udara (Iu) adalah demikian:

$Iu = c + 20 \log m.$

m = berat dinding dalam Kg/cm^2

c = konstante yang ditentukan oleh unsur-unsur frekwensi, bahan dan faktor keadaan lain.

Dari rumus itu ternyata, bahwa dua kali lipat dari tebal semula (1 m menjadi 2m) menghasilkan harga Iu menjadi: $c + 20 \log 2 m = c + 20 \log m + 20 \log 2$. Artinya: Setiap kelipatan dua dari ketebalan dinding, selalu menghasilkan pertambahan tetap $20 \log 2 = 6{,}0206$ atau dapat dikatakan 6 db isolasi. Menurut permufakatan Internasional, c dalam rumus tersebut dihitung dalam daerah frekuensi 100-3200 Hz. Ternyata, bahwa konstante c = -3 cukup baik untuk situasi yang normal.

Maka tercatatlah, bahwa untuk dinding batu bata misalnya (tidak diplester apa pun) kita menemukan harga-harga db berikut ini:

dinding setengah batu:	200 Kg/m^2	Iu: 43 db
satu batu	400	49
satu setengah batu	600	52
dua batu	800	55

c. Dari segi keuntungan isolasi karena kekompakan masa dapat ditarik kesimpulan, bahwa: pembuatan dinding-dinding pemisah harus benar-benar masif padat. Dinding harus kenyang, penuh tak berongga sedikit pun, karena mata rantai yang paling lemahlah yang paling menentukan kemampuan isolasi. Demikian juga pelapisan dengan plester, terutama untuk bahan-bahan berpori sangatlah mutlak penting, agar kerapatan dan kepadatan terjaga. Sehubungan dengan itu, massa setempat dinding (massa per m^2 luas per cm tebal) harus rata homogen. Sebab seandainya dinding terselip suatu bagian yang tidak begitu padat, ringan dan keropos, maka tempat lemah itu lagi yang menentukan harga isolasi. Dengan demikian ekonomi bangunan perihal isolasi akustik akan rugi.

d. Maka tidak sulitlah dipahami bahwa pori yang terlalu banyak dalam bahan dinding mengurangi harga isolasinya. Lubang dalam dinding bisa meniadakan sama sekali daya isolasi dinding yang sangat tebal, karena suatu getaran bunyi enak sekali menerobos melalui kebocoran semacam itu. Oleh karena itu bahan yang banyak berpori dan karenanya sering merupakan bahan isolasi baik terhadap panas, tidak dengan sendirinya merupakan bahan isolasi baik terhadap bunyi. Bahan-bahan yang ringan berserabut dan kebetulan bagus menahan panas belūm tentu menahan getaran bunyi secara baik.

d. Selain itu gejala resonansi berperan penting di sini. Dari sebab itu kekakuan bahan punya pengaruh yang agak berlawanan dengan kepadatan massa. Semakin kaku bahan, semakin ia mirip pir yang kaku dan mendekati pelat dengan sifat membran, dan semakin mudahlah ia beresonansi dengan getaran-getaran yang datang. Terutama terhadap frekuensi-frekuensi yang tinggi. Bila bahan dinding lembek, maka tidaklah mudah ia ikut resonansi. Seandainya pun ia ikut bergetar, angka getarannya rendah, sehingga lebih mampu untuk memadamkan getaran yang datang karena efek "pengacauan". Begitu ia berfungsi sama dengan fungsi pir-pir lembek yang telah diterangkan dalam Pasal 8.8.

f. *Dinding berlapis majemuk*

Perhitungan kemampuan isolasi dinding berlapis majemuk sangat sulit dan rumit dan hanya dapat dikerjakan dalam laboratorium dengan alat-alat seksama. Untuk praktek sehari-hari ada gunanya kita menge-

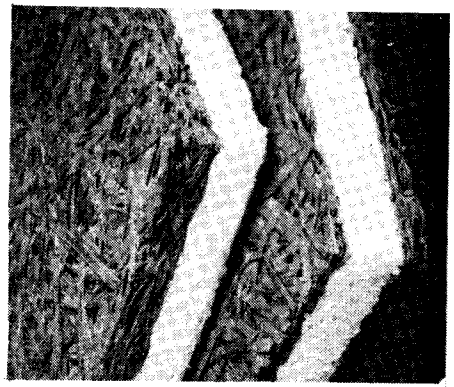
tahui beberapa pedoman kebijaksanaan dalam soal ini. Dinding berlapis majemuk lazimnya terdiri dari dua lapisan luar dengan lapisan perantara di tengahnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi kemampuan isolasinya ialah:

1) kepadatan bahan dan berat setiap lapisan

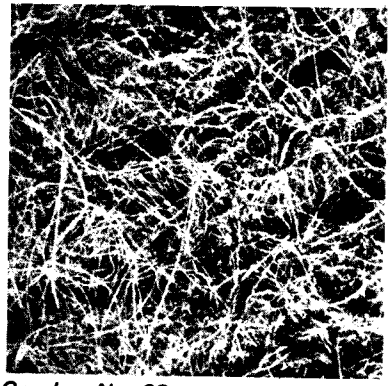
2) derajad kekakuan bahan dalam hubungan dengan kemampuan resonansinya

3) jarak antara kedua lapisan luar

4) lapisan udara di antara mereka *(gambar 92)* atau sifat kekakuan bahan lapisan tengah *(gambar 93)*



Gambar No. 92



Gambar No. 93

g. Kemampuan isolasi ke seluruh dinding dapat tercapai bila:

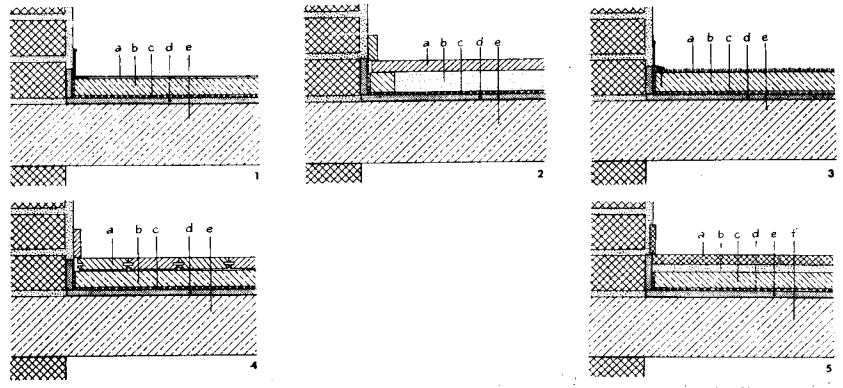
1) hasil perkalian antara berat bahan dan jarak di antaranya semakin besar.

2) kedua lapisan luar dipisahkan sempurna oleh bantalan udara atau bahan isolasi (biasanya serabut yang berpori terbuka banyak). Tidak boleh ada jembatan bunyi berupa bahan padat, batang pendukung, paku dan sebagainya yang dapat dijadikan jalan bunyi.

3) kekakuan kedua lapisan luar dibuat tidak sama. Salah satu lapisan dibuat lembek dan begitu mudah menyerap bunyi frekuensi tinggi dan madya. Hanya yang bergelombang panjang saja yang diteruskan. Perbedaan kekakuan bahan menyebabkan juga perselisihan antara gelombang-gelombang yang direfleksi (di dalam lapisan tengah) dan diresonansi. Dengan demikian tumbuhlah semacam pengacauan gelombang yang saling menetralisir dan saling memadamkan. Bila lapisan tengah merupakan bahan penyerap baik, maka gelombang-gelombang yang sudah terkacau semakin diserap juga hingga padam.

h. Prinsip pengacauan gelombang oleh dua lapisan luar yang berjarak satu sama lain dan yang punya kekakuan lain (karena punya frekuensi-diri-sendiri lain), apalagi masih diserap oleh suatu bahan penyerap baik merupakan prinsip pokok dari bermacam-macam penyelesaian soal dinding majemuk yang dipakai untuk mengatasi soal pemberantasan bunyi. Sekali lagi yang penting ialah pencegahan adanya jembatan-jembatan bunyi, karena keteledoran atau kesalahan konstruksi yang bisa meniadakan sama sekali usaha isolasi lapisan-lapisan majemuk itu.

i. Itulah juga yang menjadi prinsip kerja dari yang disebut LANTAI MENGAMBANG yang dibuat dalam bermacam-macam bentuk konstruksi. *(gambar 94)*. Sama halnya perlu diperhatikan dalam masalah langit-langit. Langit-langit bawah, udara di atasnya dan lapisan konstruksi beton lantai di atasnya misalnya merupakan suatu sistim dinding berlapisan majemuk. Di situ pula prinsip di atas (prinsip lantai mengambang namun terbalik) bekerja dan harus kita ihtiarkan. *(lihat gambar 94)*



Gambar No. 94 Lantai-lantai mengambang (tidak menyentuh dinding maupun konstruksi lantai):

1. a. Lapisan dari PVC atau linoleum (semacam karet sintetis), b. Plesteran, c. Selaput kedap air (kertas berminyak dsb.), d. Lapisan penyerap bunyi, e. Beton-baja.

2. a. Papan-papan kayu, b. Pengisian dengan pasir kering, c. Selaput kertas minyak, d. Lapisan penyerap bunyi, e. Beton-baja.

3. a Permukaan permadani, b Plesteran, c Selaput kertas minyak, d Penyerap bunyi, e Beton-baja.

4. a Papan-papan kayu, b Plesteran, c Kertas minyak, d Penyerap bunyi, e Beton-baja

5. a Tegel/ubin, b Mortel, c Plesteran, d Kertas minyak, e Penyerap bunyi, f Beton baja.

8.13 **Koefisien serapan bunyi**

a. Yang masuk dinding sebagian diserap oleh dinding dan menghilang (absorpsi) sebagian lagi dihantar oleh dinding dan merambat terus ke mana-mana (hantaran) *(lihat gambar no. 84)* dan ada yang keluar lagi di hawa udara di pihak lain dari dinding. Yang keluar ini sebagian karena bunyi menembus dinding melalui pori-pori bahan dinding (transmissi) dan sebagian keluar karena resonansi (transmissi resonansi) Berapa proses bunyi yang masuk tadi dipantul kembali, diserap, dihantar terus menerus melalui molekul-molekul udara dalam pori-pori bahan atau pun oleh bahan itu sendiri, dan berapa dikeluarkan karena gejala resonansi tergantung dari banyak unsur, seperti sifat bahan dinding, tebal bahan, susunan lapisan-lapisan dinding, keadaan kelembaban dan sebagainya.

Serapan total terjadi apabila gelombang-gelombang bunyi menjumpai lubang atau jendela dan menghilang di luar. Oleh karena itu perhitungan kemampuan penyerapan bahan atau dinding sering diperbandingkan juga dengan kesatuan yang disebut 1 m^2 jendela terbuka (1 m^2 j.tb.)

Absorpsi total (A) dari suatu ruangan adalah luas dari jendela (khayalan) yang sama sekali tidak memantulkan bunyi apa pun dan yang kemampuan serapannya (seandainya ada) sama dengan kemampuan serapan total dari seluruh dinding-dinding pembatas ruangan tersebut.

a. Setiap dinding pembatas ruangan (jadi tidak ikut dihitung dinding-dinding dalam ruangan yang bukan pembatas ruangan) tentulah mempunyai kemampuan serapan bunyi juga. Kemampuan serapannya tergantung dari *luas* dinding itu dan *koefisien serapannya. Koefisien serapan* menunjukkan *daya kemampuan serapan suatu bahan,* dan berkisar antara nol dan satu. Jika tidak ada suatu bunyi sedikit pun yang diserap, (hampir tidak pernah terjadi), maka koefisien absorpsi adalah nol. Bila seluruh bunyi diserap (seperti terjadi pada jendela terbuka), maka koefisien serapan adalah satu. Jika tiga per tiga dari bunyi diserap, maka koefisien bunyi serapan adalah 0,75.

Karena penyerapan tergantung juga dari sudut sentuhan gelombang dengan permukaan, maka secara teoritis faktor sudut sentuhan itu seharusnya ikut diperhitungkan juga. Tetapi dalam praktek koefisien serapan yang kita pakai adalah hasil pencatatan eksperimentil dari sentuhan gelombang-gelombang bunyi pada suatu dinding. Tetapi ternyata lagi, bahwa frekuensi bunyi juga ikut menentukan hasil serapan. Kelainan dalam frekuensi bunyi membawa juga kelainan dalam koefisien serapan. Sebetulnya kedudukan sesuatu dinding terhadap yang lainnya dan masih banyak faktor pengaruh lain yang menentukan hasil akhir dari serapan. Misalnya pengaruh frekuensi (lihat bawah). Tetapi itu dapat diabaikan untuk masalah-masalah ruangan yang sederhana.

TABEL I

Variasi pada koefisien serapan karena perbedaan frekuensi

bahan	koefisien serapan pada frekuensi						
	64	128	256	512	1024	2048	4096
jendela terbuka	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
dinding bt. bata 2 batu tak dicat	0,21	0,024	0,025	0,032	0,042	0,049	0,070
dinding bt. bata 2 batu dicat	0,011	0,012	0,013	0,017	0,020	0,023	0,025
permadani 1 cm di-lantai beton	—	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37
dinding papan kayu 2 cm							
manusia duduk, 2,2 orang/m^2	0,064 0,35	0,098 0,73	0,11 0,88	0,10 0,97	0,081 1,0	0,082 1,0	0,11

c. Koefisien serapan tidak hanya diterapkan pada dinding-dinding saja, tetapi juga pada benda-benda lain, sampai pun manusia (pakaiannya) menyerap bunyi. Di bawah ini disampaikan suatu tabel tambahan dari koefisien serapan dari beberapa bahan bangunan yang umum terdapat di bangunan. Dari pabrik bahan bangunan yang sudah berkwalitas biasanya kita dapat minta keterangan tentang koefisien penyerapan produk-produk bahan-bahan bangunan mereka. Terutama dari bahan-bahan yang memang disengaja diproduksi sebagai bahan penyerap yang secara umum diberi nama pelat-pelat akustik dan yang kini begitu banyak membanjiri pasaran dengan bermacam-macam nama, bisa kita tanyakan dari pabriknya angka-angka koefisien penyerapan mereka.

TABEL II

Koefisien serapan beberapa bahan bangunan pada kira-kira 500 Hz.

jendela terbuka	1		
dinding bt. bata 2 batu/ lebih (tidak diplester)	0,0-0,5	lantai balok kayu linoleum, karet keras	0,05 0,03-0,06
idem, diplester, dicat	0,02	pada beton	
gips plester kapur pada dinding batu batu	0,02	karpet kayu (tegel kayu) tanpa lapisan bawah	0,15 0,20
kaca	0,03	tirai ringan (gorden)	0,10
marmer, tegel keras, porselin	0,01	tirai berat sedang kerawang, krepyak, trali	0,15 0,15-0,5
lantai beton publik, padat normal	0,015 0,95-0,98	tirai berat berlekuk-lekuk	0,2-0,5

TABEL III

Serapan oleh manusia atau benda pada kira-kira 500 Hz dihitung dengan M^2 j.tb.

publik manusia per orang	0,44	kursi-kursi berlapis beledu	0,25
kursi-kursi kayu	0,016	kursi-kursi berlapis vilt-wol	0,19
kursi-kursi berlapis kulit plastik	0,15		
dinding papan kayu 2 cm	0,10	permadani 1 cm di lantai	0,21-0,3
pintu daun-pintu kayu	0,05		

absorpsi seluruh dinding/benda dihitung sebagai hasil perkalian antara luas dinding/benda tersebut dan koefisien serapannya (A = m^2 jendela terbuka) Misalnya: dinding, langit-langit plesteran keras: luas: 980 m^2. absorpsi per m^2 = 0,02 (koefisien serapan) Maka A = kira-kira 20 m^2 j.tb.

8.14 **Serapan karena transmisi dan resonansi**

a. Setiap penyerapan bunyi pada hakekatnya adalah gejala pengubahan sebagian energi bunyi dari bentuk yang satu (energi mekanis) ke bentuk energi mekanis yang lain atau ke bentuk energi kalor, sehingga bentuk energi bunyi semula seolah-olah "menghilang" atau "ditelan". Tetapi pada dasarnya hanya berubah ke dalam bentuk energi yang lain. Ada lima macam serapan:

1) Yang pertama sebenarnya bukan serapan oleh bahan-bahan dalam arti biasa, tetapi khusus, yakni bila bunyi menjumpai suatu lubang atau jendela terbuka tadi. Di sini bahan dianggap menjadi nol (diganti oleh hawa udara). Oleh karena itu serapan adalah total 100%.

2) Yang kedua merupakan serapan sebagai akibat transmisi (penularan) oleh molekul-molekul udara dalam pori-pori yang mengakibatkan gesekan satu dengan lain dan energi bunyi diubah menjadi energi kalor *(lihat gambar 86a)*

3) Yang ketiga ialah serapan dalam gejala timbulnya resonansi. Di sini energi bunyi yang semula merupakan getaran-getaran mekanis molekul-molekul udara diubah dalam *energi mekanis* lain dari molekul-molekul bahan dinding yang selanjutnya menjadi sumber getaran sendiri dan yang menggetarkan molekul-molekul udara di pihak ruang penerima bunyi. *(lihat gambar 86b, 87b)*

b. *Resonansi*

Setiap benda atau unsur konstruksi bangunan punya satu atau beberapa frekuensi getaran khas (disebut frekwensi diri-sendiri). Pada frekwensi ini benda itu sangat mudah bergetar. Baik karena ia sendiri bergetar oleh salah satu cara yang dibuat, (disebut getaran bebas) maupun disebabkan karena ia tersentuh oleh getaran bunyi lain dan karenanya ia IKUT bergetar dengan getaran LUAR itu. (disebut getaran terpaksa getaran ikutan *(lihat gambar 87a)*.

Salah satu situasi getaran terpaksa yang sangat khusus, ialah apabila kebetulan frekuensi diri-sendiri tadi sama dengan frekuensi gelombang yang datang *(lihat gambar 87b)*. Demikianlah gelombang yang datang dan gelombang diri-sendiri tadi selalu tetap bersamaan dan karena itu semakin mereka bergetar, semakin saling mendorong dan memperkuat. Penggetaran timbal balik itu bisa begitu hebat, sehingga ayunan-ayunan getaran dapat menghancurkan benda itu, bila sudah melampaui ketahanan benda. Contoh yang terkenal ialah apabila sepasukan tentara berbaris pada jembatan dan pada suatu frekuensi tertentu derap langkah barisan berpadu dengan suatu frekuensi tertentu dari jembatan. Bila hal itu terjadi cukup lama, seluruh jembatan bisa patah. Oleh karena itu di atas jembatan orang dilarang berbaris atau membunyikan genderang. Gejala khusus, ketika frekuensi getaran bunyi yang datang dari luar adalah sama dengan frekuensi diri sendiri dari dinding/benda disebut *Resonansi. (lihat gambar 87b)*.

c. Dalam resonansi bunyi pada bahan dinding, sebenarnya terjadi juga gejala pengubahan energi bunyi menjadi energi panas. Dalam panil-panil kayu, langit-langit papan atau lambrisering kayu pada dinding, terhimpun getaran-getaran resonansi dengan amplitudo getaran yang semakin besar. Resonansi itu menimbulkan gosokan-gosokan di dalam panil tersebut, sehingga energi bunyi sebagian terubah menjadi energi kalor (tentulah energi kalor itu sangat sedikit dan hampir tidak terasa oleh kita, tetapi ada nyata). *(lihat gambar 89a, b; 90c)*.

Ternyata bahan kayu mempunyai ciri khusus dalam peristiwa resonansi itu. Dalam kayu dapat terhimpun getaran resonansi yang cukup besar. Selain itu dalam kayu memanglah amplitudo getaran resonansi relatip tidak begitu besar bila dibanding dengan beton misalnya atau pelat aluminium. Tetapi bahan kayu punya sifat: dia bisa menampung merata banyak angka frekuensi bunyi yang beresonansi dalam dirinya. Maka kayu mempunyai sifat bagus dalam persoalan serapan bunyi. Justru frekuensi-frekuensi bunyi yang demi kenikmatan pendengaran manusia diharapkan agar diserap, bahan kayu menyerapnya. Oleh karena itu di antara sekian banyak bahan bangunan, sampai sekarang tidak ada bahan akustik yang lebih bagus daripada kayu.

d. Serapan bentuk lain sebenarnya masih tergolong serapan dengan jalan resonansi, tetapi dalam arti khusus. Yakni yang disebut serapan MEMBRAN, atau SELAPUT. Membran adalah bahan yang luas namun sangat tipis. Biasanya dibuat dalam suatu konstruksi dinding yang ter-

PERPUSTAKAAN DAERAH KOTA TK. II
JL. MENUR PUMPUNGAN No. 32
SURABAYA

diri dari dua unsur pokok: suatu pelat yang berfungsi sebagai *selaput* atau semacam kulit genderang dan suatu bantalan udara di antara pelat itu dengan dinding lain. Jadi merupakan dinding berlapis majemuk. *(lihat gambar 86, 87)*. Sebagai pertolongan pelat itu dipasang pada suatu kerangka kayu yang ditempelkan pada dinding pelat (dibuat dari bahan kayu tripleks misalnya, hard-board dan lain-lain tergantung kebutuhan) berfungsi sebagai membran yang mudah beresonansi dengan bunyi yang datang dan menyentuhnya. Sebagian energi bunyi yang datang itu diubah menjadi energi kalor gosokan dalam membran, dan sebagian dipakai oleh membran untuk bergetar. Bantalan udara di antara membran dan dinding berfungsi sebagai pir lembek atau bantalan elastis dan karena hawa udara di situ tidak bisa keluar, maka sebagian dari energi bunyi di dalam bantalan udara itu yang antara lain berasal dari getaran pelat resonator tadi) diubah menjadi energi kalor gosokan juga. Tentulah karena kontak dan penjalaran melalui bantalan udara itu, dinding di belakangnya terpengaruh dan ikut bergetar juga. Tetapi bergetar dengan frekuensi-diri-sendiri menurut bahannya. Frekuensi diri-sendiri dari dinding belakang, kerangka pendukung pelat dan pelat resonator membran itu tidak sama dan karena ketidak samaan itu bisa "saling mengacau", yang mengakibatkan hilangnya sebagian energi bunyi lagi. Demikianlah seluruh sistim membran, bantalan udara, kerangka dan dinding di belakangnya menghabiskan sebagian energi bunyi yang datang dan itu mewujudkan gejala serapan bunyi. Penambahan hasil serapan masih dapat ditingkatkan dengan penempatan suatu lapisan bahan yang lembek, bahkan serabut dan sebagainya di dalam rongga di belakang membran. Prinsip kerja di sini, yang juga selalu terdapat dalam konstruksi-konstruksi dinding lapisan majemuk, ialah ikhtiar, agar dengan penimbulan resonansi (yang diatur dan ditentukan frekwensinya) yang berlainan pada membran, bantalan udara, lapisan serabut dan dinding itu sendiri, timbul suatu "pengacauan" frekuensi yang saling memadamkan sebagai akibat dari pengubahan energi bunyi ke dalam energi mekanis membran dan energi kalor gosokan molekul-molekul unsur konstruksi itu.

e. Serapan macam lain lagi sebenarnya hanya merupakan suatu varian saja dari yang sudah-sudah. Perbedaan hanya terletak pada perwujudan alat-alatnya. Di sini bekerja absorpsi yang disebut *absorpsi resonator*. Dari namanya sudah tampak, bahwa di sini pun bekerja gejala resonansi. Prinsip susunan resonator ialah: suatu rongga yang besar dengan lubang relatip sempit pada sisi datangnya bunyi. Jadi semacam botol dengan mulutnya yang kecil, atau seperti yang tampak (dan memang berprinsip resonator) pada alat-alat musik gitar, biola, sello, kontrabas,

dan lain-lain: Di situ kotak nada selalu berlubang kecil dan keseluruhannya merupakan suatu kotak atau botol hampir tertutup penuh *(lihat gambar 90b, c)*. Lain halnya dengan prinsip rebab, banyo dan sebagainya yang memakai membran dan tergolong prinsip yang keempat tadi.

f. Volume udara dalam rongga punya frekuensi diri-sendiri tertentu, tergantung dari sisi dan bentuknya. Rongga udara itu berfungsi sama dengan fungsi pori-pori atau bantalan udara dalam prinsip absorpsi yang lalu. Tetapi hawa di sini bisa keluar. Udara dalam rongga ikut bergetar juga dengan bunyi yang datang dan sebagian dari bunyi diubah menjadi energi gosokan panas. Tetapi rongga masih bertugas tambahan pula untuk menyaring dan mengendalikan bunyi yang masuk dalam rongga dan hanya keluar lagi sesudah digarap di dalamnya. Semakin banyak rongga berbentuk botol dengan mulut kecil itu kita buat, semakin banyak juga kepadatan energi bunyi dinetralisir, diolah karena proses pemantulan, resonansi dan penyerapan dalam rongga-rongga tadi.

Bila permukaan rongga, terutama di leher lubang dibuat dari material yang kasar dan penuh pori, maka di situ terjadi banyak penggosokan molekul udara dan semakin luas juga daerah frekwensi yang dapat digarap. *(lihat gambar 90)*.

g. *Pelat-pelat akustik*

Maka dalam pasaran terjuallah kini banyak pelat-pelat atau bagian-bagian panil, langit-langit dan sebagainya yang disebut dengan nama umum pelat-pelat akustik, dan yang semuanya memakai prinsip-prinsip di atas *(gambar 91, 92, 93)*.

h. Perhatikan juga pengeterapan prinsip-prinsip akustik bunyi pada yang disebut *lantai mengambang,* di mana bidang lantai yang diindak orang sama-sekali tidak menyentuh konstruksi pendukung lantai maupun dinding *(gambar 94)*.

8.15 Norma-norma persyaratan isolasi bunyi

a. Norma-norma persyaratan isolasi bunyi untuk dinding, lantai, langit-langit pintu jendela dan sebagainya yang harus dianggap sebagai keharusan resmi di Indonesia belum ada. Maka untuk sementara kita terpaksa mencari beberapa pegangan dari peraturan-peraturan di luar negeri yang dapat memberi manfaat. Walaupun misalnya sistem yang dipakai di negeri Belanda, Jerman, Swedia, atau Inggris berlainan, akan tetapi prinsip-prinsip pemikirannya sama. Misalnya:

Pada umumnya orang mengambil patokan, bahwa daerah pengukuran bunyi yang praktis untuk masalah ini diambil dalam daerah 100-3200 Hz. Ukuran bunyi udara maupun bunyi kontak/pukulan pada dinding atau

lantai diukur dengan desibel dan menyatakan perbandingan antara bunyi yang diterima pada dinding dan yang diteruskan.

Karena perhitungan isolasi bunyi merupakan gugusan soal yang sangat sulit dan rumit, maka orang mengambil titik-tolak kerja pada pendengaran rata-rata dari pengalaman sehari-hari. Ternyata bahwa dalam situasi biasa, suatu dinding batu-bata setebal satu batu dengan plester-plesteran cukup padat jarang membiarkan bunyi gangguan menerobos dinding. Maka diambilah patokan praktis, bahwa nilai isolasi dinding semacam itu, yang kira-kira berharga 48-50 db, adalah patokan minimum yang cukup dapat dipertanggung jawabkan untuk isolasi bunyi udara bagi dinding pemisah antara dua rumah yang berhimpitan atau bertumpangan. Tentulah harga 48-50 db itu sebaiknya dilampaui.

b. Sangat penting untuk norma pegangan ialah berat dari dinding, karena tebal dinding sebagai norma ukuran hanya punya arti, bila ketebalan tadi sesuai dengan berat dinding. Di bawah ini terdapat daftar sebagai pembanding:

dinding berlapis tunggal

Negara	Lembaga/Peraturan	isolasi (db)	berat (Kg/m²)	tebal (cm)
Jerman	DIN 52211	49	450	31
Inggeris	J.Roy Inst. Brit.Arch.	50	500	34
Swedia	Anvisninger till Byggn.	48	350	24
Austri	Oenorm	48	350	24
Belanda	Gezondheidsorg. T.N.O.	50	500	34

c. Dinding pemisah (termasuk lantai loteng, langit-langit, daun pintu/jendela dan sebagainya) selalu dapat dikenal dari dua harga isolasinya:
isolasi terhadap datangnya getaran-getaran udara (bunyi udara)
isolasi terhadap getaran-getaran langsung/tak langsung dari pukulan, sentuhan, injakan dan sebagainya (bunyi kontak).

Harga yang diminta untuk isolasi kontak tidak sama dengan yang diminta dari isolasi bunyi udara, karena persoalan agak lain. Pada soal bunyi udara masih dicari perbandingan antara bunyi yang datang dari pihak sisi bunyi datang dan sisi bunyi keluar. Perihal bunyi kontak, persoalan sisi sumber bunyi dan perbandingannya dengan sisi lain tidak menjadi soal. Yang menjadi soal hanyalah: bagaimanapun, bunyi akibat pemukulan dari manapun dan bagaimanapun mutlak tidak boleh melebihi ukuran yang sudah ditentukan.

d. Di *Jerman* misalnya pengukuran isolasi diperbandingkan dengan beberapa *lengkung wajib (soll-kurve)* yang menjadi patokan baik-buruk isolasi sesuatu dinding pemisah. Setiap konstruksi dinding harus diteliti dan diperbandingkan dengan lengkung wajib itu *(lihat Gambar 75)*

Untuk isolasi *udara,* dinding yang bersangkutan sebisa mungkin harus memiliki harga *di ATAS lengkung-wajib itu.* Itu berarti, bahwa dalam keadaan frekuensi di antara 100-3200 Hz, dinding yang baik harus punya harga isolasi di ATAS harga minimum yang sudah ditentukan oleh peraturan. Semakin besar harga desibel, semakin baik isolasi dinding.

Untuk isolasi bunyi *kontak* persoalan adalah sebaliknya. Lengkung yang ditentukan untuk bunyi kontak adalah lengkung wajib yang bersifat MAKSIMUM. Bunyi kontak yang terdengar dalam ruangan penerima bunyi tidak boleh melebihi harga yang sudah ditentukan. Juga untuk daerah frekwensi 100-3200 Hz. Dari sebab itu, semua di dinding pemisah yang dibuat harus membuktikan bahwa bunyi *kontak yang tiba pada ruang penerima bunyi wajib ada di BAWAH Soll-kurve* tadi.

8.16 Klas Bangunan dari segi akustik

a. Peraturan *Belanda* (NGB III 1951) lebih mudah penggunaannya untuk praktek, walaupun prinsip pemikirannya sama. Dibedakan juga antara maksimum dan minimum isolasi kontak dan isolasi udara. Tetapi yang baik diperhatikan ialah, bahwa menurut peraturan itu (sementara hanya untuk rumah-tinggal) orang boleh membangun dengan kualitas akustik bangunan menurut tiga kelas:

kelas bangunan akustik *baik*
kelas bangunan akustik *sedang*
kelas bangunan akustik *cukup*

Dari sekian konstruksi dinding yang banyak dipakai dalam masyarakat diteliti harga isolasinya, dinilai dan diberi angka nomor prestasinya, yang sesuai dengan kemampuan akustiknya. Misalnya dalam daftar terdapat suatu konstruksi dinding batu dengan plesteran 2 cm di kedua sisinya yang berharga isolasi 48 db. Konstruksi ini diberi nomor prestasi P = 10. Dalam daftar kelas "Cukup," syarat prestasi yang tertinggi yang diminta ialah P = 10.

Jadi bila gedung ingin digolongkan kelas "baik," maka konstruksi yang dipakai harus lebih dari P = 10. Atau dengan kata lain: isolasi udaranya harus lebih dari 48 db.

Ukuran standar untuk lantai perihal bunyi kontak adalah prestasi akustik dari lantai beton setebal 11 cm dengan plesteran juga pada kedua belah sisi dan yang dibubuhi angka I_c = nol db. Lantai yang dibubuhi catatan I_c = 3,5 db berarti bahwa ia 3,5 db lebih buruk isolasi-isolasi kotaknya dari standar maksimum.

b. Perlu diingat, bahwa penilaian 48 db, -3,5 db dan sebagainya tadi adalah angka rata-rata diambil untuk daerah frekuensi 100-3200 Hz. Pengukuran yang paling tepat ialah pengukuran pada semua frekuensi dan

tidak hanya pada ukuran rata-rata saja, karena perbedaan bunyi bisa sangat besar untuk keperluan-keperluan tertentu.

Oleh karena itu sistem dengan pengukuran lengkap terhadap lengkung wajib (Soll-kurve) seperti dalam peraturan Jerman memang lebih teliti dan menghindari kekecewaan yang tak terduga. Tetapi alat-alat dan instansi pengukuran untuk sistem semacam itu membutuhkan kualitas dan modal tidak sedikit. Di Indonesia masalah akustik-bangunan belum berkembang, bahkan cara-cara pembangunan jaman sekarang umumnya lebih buruk perihal isolasi bunyi daripada rumah-rumah kuno yang biasa memakai dinding-dinding dan konstruksi daun pintu jendela dan sebagainya yang lebih berat dan besar.

c. Secara mudah perkiraan kemampuan isolasi akustik dapat kita taksir sendiri dari ketebalan dinding dan berat bahan dinding beserta kerapatannya dengan lubang-lubang yang minimum. Itu akan bertentangan dengan tuntutan iklim tropik lembab untuk membangun bangunan yang serba terbuka, serba berlubang, untuk memungkinkan ventilasi yang maksimal. Memang itulah kesulitan yang harus dipecahkan menurut kepentingan urut-urutan kepentingan setiap proyek dan kebijaksanaan ekonomi, yang sedikit-banyak terpaksa mengorbankan beberapa tuntutan yang seharusnya dipenuhi.

8.17 **Kategori ruangan dari segi akustik bangunan**

a. Karena itu sangatlah praktis dalam peraturan Belanda tadi, bangunan-bangunan rumah digolongkan dalam tiga kelas: baik, sedang dan cukup. Selain itu dalam setiap rumah itu sendiri ruangan-ruangan pun digolongkan menurut kategori kebutuhan isolasi bunyi.

Pertama penggolongan dipertimbangkan atas dua dasar:

1) kemungkinan untuk menjadi ruangan *penghasil* bunyi
2) kemungkinan untuk menjadi ruangan *penerima* bunyi

Selain itu masih dipertimbangkan juga empat kategori ruangan yang harus dipadukan dengan pertimbangan pertama di atas.

Demikian kita mempunyai kemungkinan di bawah ini:

kategori ruangan	faktor 1 kemungkinan produksi bunyi	faktor 2 kemungkinan kebutuhan dilindungi terhadap bunyi
1. ruang keluarga	besar	besar
2. ruang tidur	sedikit	besar
3. ruang-ruang pelayanan	besar	kecil
4. ruang-ruang lain tak penting	sedikit	sedikit

Dari hitungan dapat ditarik kesimpulan, bahwa jumlah kemungkinan untuk ruangan dari kategori yang satu berdampingan dengan ruangan kategori yang lain adalah sepuluh: 1-1, 1-2, dan seterusnya 3-4, 2,3 dan seterusnya.

Pendampingan ruangan-ruangan 4-4- tidak menimbulkan soal sedikitpun. Maka tinggallah 9 kemungkinan yang harus kita perhatikan. Maka untuk setiap kelas bangunan dan kelas kualitas akustiknya dibuatkan juga 9 nomor prestasi akustik, yang menunjukkan syarat mana yang harus untuk dinding pemisah salah satu dari sembilan kombinasi kategori ruang tadi.

b. Dalam peraturan Belanda tadi juga ditetapkan, agar setiap rumah harus memiliki satu ruang yang memenuhi syarat-syarat akustik tertentu sebagai RUANG TENANG. Maksudnya agar dalam rumah paling sedikit ada satu ruang tidur yang lebih tenang daripada ruang-ruang tidur lainnya. Demi perawatan seorang anggauta keluarga yang sakit dan sebagainya. Meskipun hanya satu kamar tenang yang diharuskan, akan tetapi dianjurkan, agar ada lebih dari satu ruang tidur yang berkualitas ruang tenang, agar pemakaian rumah dan ruangan dapat lebih fleksibel. Itu semua mengenai dua ruangan yang ikut dua rumah yang saling berhimpit atau saling tumpangan seperti terjadi dalam flat. Untuk dinding-dinding pemisah dari ruangan-ruangan dalam satu rumah tangga tidak ada ketentuan wajib, selain untuk rumah-rumah yang tergolong kelas baik, dalam hubungannya dengan ruang tenang tadi.

c. *Ukuran foon untuk pelbagai ruangan penggunaan*

Dalam tabel-tabel di bawah ini kita dapat melihat, berapa foon kita terima untuk pelbagai nyaringnya bunyi:

	foon
batas sakit pendengaran (sekitar 1000 Hz)	130
foon	
mesin yet pesawat terbang jarak dekat	130
pabrik tekstil, bengkel riuh sekali	110
klakson keras, kamar mesin	100
kereta-api melalui jembatan besi, mesin perombak jalan, jarak 3 m	90
orkes besar, klakson biasa	80
lalu lintas padat, radio keras, kantor besar	70
transistor biasa, percakapan normal, bel sepeda, jalan raya	60
suara/bunyi biasa dalam rumah, mobil, mesin jahit	50
percakapan lembut, kantor dan rumah tenang, jalan tenang	40
jalan sunyi, bungalow, rumah tenang sekali	30
taman hening, di tengah sawah, di puncak gunung	20
berbisik-bisik jarak 1,5 m., desir dedaunan dlm angin sepoi-basa	10
ambang pendengaran	0

Dari tabel di atas tampak, bahwa yang harus kita ihtiarkan untuk konstruksi ruangan perumahan biasa adalah pencapaian 50 foon tadi, yang untuk bunyi berfrekuensi 1000 Hz berharga 50 db. Untuk studio radio umpamanya dan rumah sakit pencapaian 50 db tentulah masih kurang. Bila kita tidak punya alat-alat pengukur isolasi bunyi yang baik, kita dapat mengukurnya sendiri dengan perbandingan dengan daftar foon di atas. Tetapi ingat, pengoperan harga foon ke desibel hanya bernilai sama pada 1000 Hz. Praktis untuk keperluan sehari-hari dasar ukuran foon ini dapat dipakai juga untuk pembanding.

8.18 Pelaksanaan isolasi bunyi dan denah bangunan

Hasil isolasi bunyi yang kurang memuaskan seumumnya datang dari pelaksanaan praktis pembangunan.

a. Bila tanah dasar pondasi atau pondasi bangunan itu sendiri kurang baik, maka dalam dinding timbul banyak keretakan-keretakan kecil. Lubang-lubang keretakan itu mungkin tidak membahayakan kekokohan bangunan. Akan tetapi praktis mengurangi atau bahkan meniadakan sama sekali kemampuan isolasi bunyi yang semula sudah direncanakan secara betul.

b. Demikian juga bila pemasangan bata serta plesteran dinding-dinding dikerjakan terlalu basah atau dibiarkan menderita di bawah pengeringan yang terlalu mendadak, maka timbul juga keretakan-keretakan yang sangat mengurangi kemampuan isolasi bunyi.

c. Dinding-dinding dari batu bata harus dipasang serba kompak penuh, jangan sampai masih tersisa lubang-lubang atau rongga-rongga yang sama akibatnya dengan retakan-retakan tadi.

Juga tidak ada gunanya dibuat dinding-dinding tebal demi pencapaian isolasi bunyi, akan tetapi di beberapa tempat dinding diselundupi bahan-bahan yang ringan atau pun kurang padat kompak. Juga bila karena keteledoran lalu terbentuk jembatan-jembatan bunyi yang sangat enak menghantar bunyi. Seperti misalnya angker-angker besi dan potongan-potongan pipa tertentu.

d. Terutama di tempat-tempat pipa-pipa instalasi menembus dinding harus diperhatikan pemisahan pipa-pipa itu dari bagian-bagian dinding, sehingga tertahanlah getaran bunyi kontak yang menjalar. Perlu diketahui, bahwa pipa-pipa tersebut merupakan jembatan bunyi yang baik. Pemberian lokasi tembusan pipa instalasi lainnya harus benar-benar tepat pada denah, sehingga jangan memberi kekecewaan yang tak terduga.

e. Kesalahan-kesalahan yang dibuat selama pelaksanaan bangunan biasanya tidak mungkin lagi atau sangat mahal diperbaiki. Oleh karena itu pengawasan dan tukang-tukang harus mengerti hukum-hukum serta seluk-beluk lorong-lorong bunyi serta prinsip-prinsip pokok penahan-an/isolasi gelombang-gelombang bunyi.

f. Terutama pada bagian-bagian sudut pertemuan antara dinding-dinding ruang dengan lantai atau asap/langit-langit harus mendapat perhatian yang khusus. Di tempat-tempat itu *(lihat Gambar 81 b)*, jalan getaran-getaran yang langsung dan tidak langsung bisa dicegat dan sangat dikurangi penjalarannya.

g. Sangat penting juga ialah bagian rumah dengan pemakaian pipa dan penggelontoran air seperti kamar mandi dan WC. Bunyi WC sangat tidak enak didengar.

Bunyi mesin biasanya lebih nyaring tetapi tidak menimbulkan rasa muak.

h. Isolasi dan pemberantasan bunyi gangguan tidak pernah bisa mencapai 100% tetapi banyak kepuasan sudah dapat dihasilkan bila kita cermat dalam proses pelaksanaan bangunan.

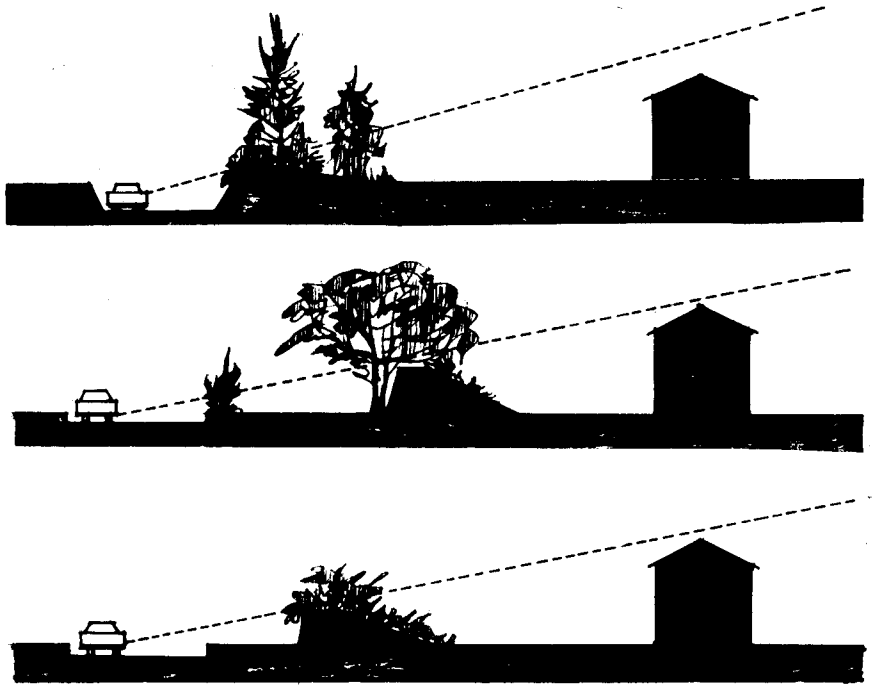
8.19 Pemilihan lokasi bangunan dan pengaturannya

a. Tidak sulit dimengerti, bahwa penempatan gedung serta pengaturan halaman sekelilingnya dapat mempengaruhi tingkat gangguan suara. Rumah sakit misalnya tidak baik diletakkan di tepi jalan raya padat lalu lintas dan gedung sekolah pun juga jangan diletakkan di samping suatu pabrik. Demikian pun ruangan tidur sebaiknya diletakkan di sisi yang tenang dan sebagainya.

Tetapi tidak selalu kita bisa memilih lokasi penempatan bangunan yang tepat dan bagus dari segi pengamanan terhadap gangguan-gangguan suara dari jalan raya dan sebagainya. Kita dapat cukup tertolong oleh tumbuh-tumbuhan semak-semak serta pepohonan. Terutama terhadap suara-suara bising berfrekuensi tinggi, dedaunan punya daya penyerap yang bagus. Setiap 1 m semak atau dedaunan memperbaiki daya penyerapan suara sebesar 0,1 fon *(Gambar 96)*.

Macam tumbuhan	Penambahan penyerapan bunyi diukur dengan db.		
	100 Hz	1000 Hz	5000 Hz
rumput, tipis, setinggi 10-20 cm	0,005	0,0	
rumput, tebal, setinggi 40-50 cm	0,005	0,12	0,15
tumbuhan padi rapat setinggi 90 cm	0,010	0,25	0,30
hutan	0,020	0,06	0,15

Lebar halaman muka	Pengurangan kebisingan daun jarang	oleh pagar daun rapat
10 m	3%	8%
20	7	11
40	11	13

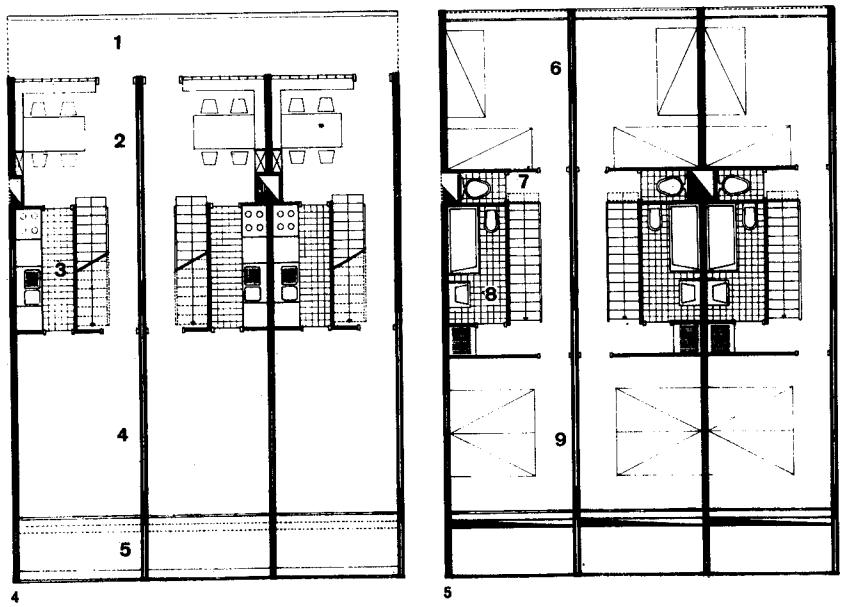


Gambar No. 96

b. *Denah bangunan*

Selain pemilihan LOKASI bangunan yang tepat serta pengaturannya terhadap susunan alam serta tetangga kelilingnya, denah rumah atau bangunan harus direncanakan seksama dalam hubungannya dengan penjalaran bunyi-bunyi yang mengganggu.

Contoh: penempatan ruangan-ruangan tidur atau ruangan studi terhadap jalan raya. Isolasi yang baik pada bahan bangunan dan susunan konstruksi biasanya sangat mahal harganya. Oleh karena itu kita lebih baik menghemat biaya konstruksi dengan jalan perencanaan denah yang setepat-tepatnya daripada mengeluarkan banyak biaya extra untuk



Gambar No. 97

mengatasi gangguan bunyi. Terutama apabila kita menghadapi soal pembuatan rumah-rumah yang bertingkat atau rumah tetangga yang berimpit.

Perencanaan denah harus diatur, agar peletakan ruangan tidur dan ruangan-ruangan lainnya yang membutuhkan ketenangan jangan didampingkan dengan ruangan-ruangan yang kodratnya memang selalu ramai.

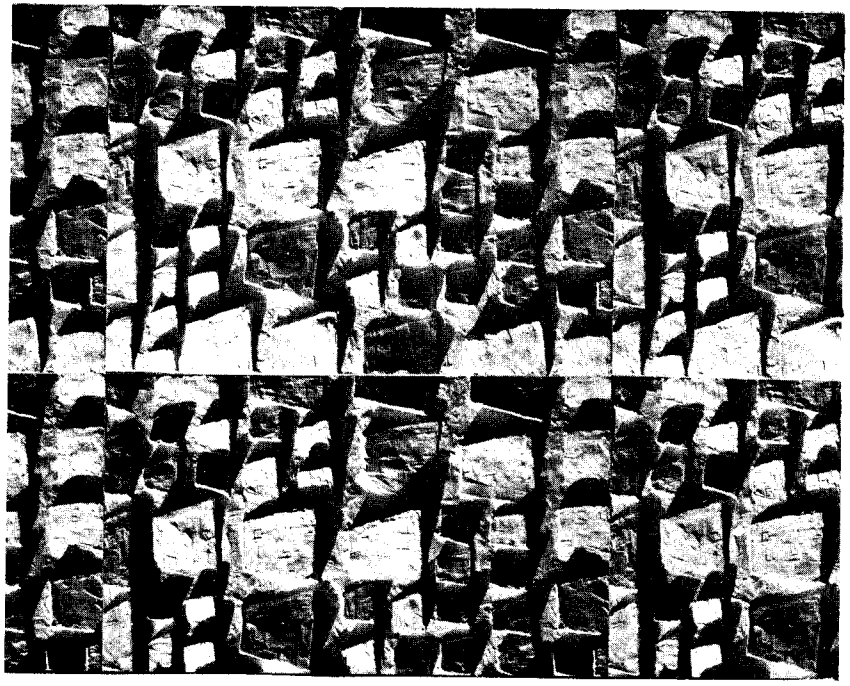
Dari sebab itu pengaturan *denah yang simetris sangat menolong pengendalian gangguan suara.* Dapur berhimpit dengan dapur, Kamar mandi WC berhimpit dengan kamar mandi WC juga. Gang-gang atau tangga, yang sebenarnya hanya merupakan ruang-ruang perantara, tetapi justru sering menimbulkan keramaian atau kegaduhan, perlu diatur agar sedikit mungkin mengganggu tetangga ataupun ruangan-ruangan yang membutuhkan keheningan *(lihat Gambar 97).*

Umumnya ruangan-ruangan yang membutuhkan ketenangan sebaiknya diletakkan pada sisi kebun dalam atau sisi yang menjauh dari jalan raya. Ruangan-ruangan gudang, dapur, kamar kerja dan sebagainya bisa dijadikan perisai juga terhadap kemungkinan kegaduhan dari tetangga atau jalan raya. Demikian juga almari-almari yang permanen (build-in) dapat sangat menolong.

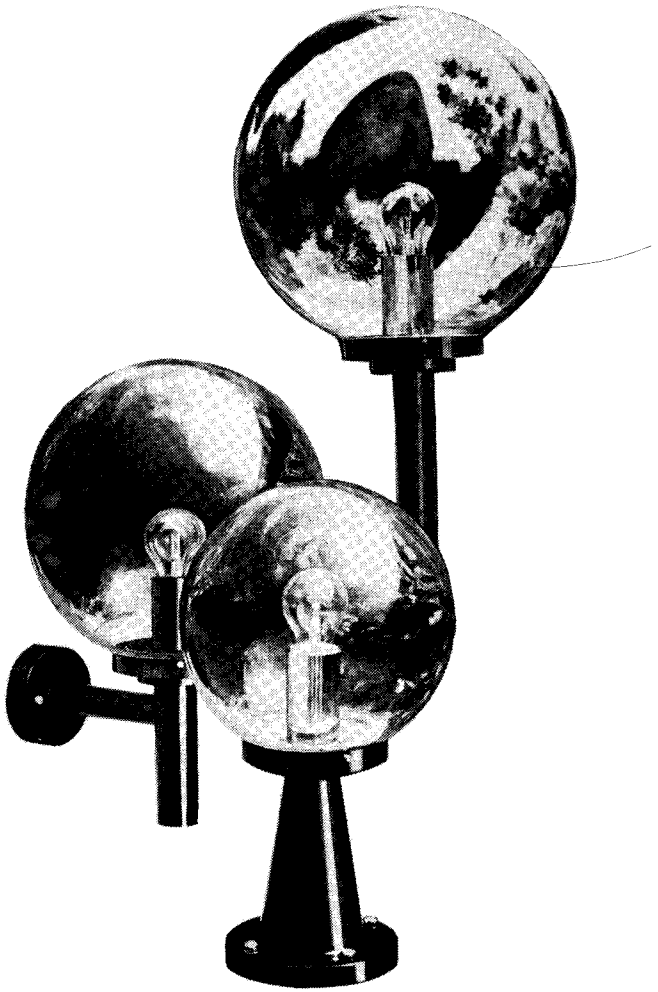
Terhadap tetangga yang tinggal di loteng atas atau bawah, tidak ada jalan yang lebih bagus daripada isolasi total. Sebagai contoh yang bagus ialah sistem yang dikerjakan oleh *Le Corbusier* di dalam gedungnya yang termashur l'Unité d'habitation di Marseille. Le Corbusier membuat kerangka-kerangka beton dan di dalam kerangka diletakkan perumahan ibarat kotak-kotak terpisah dengan dinding-dinding, lantai dan langit-langit yang lepas sempurna dari bagian perumahan tetangga. Peletakan kotak-kotak perumahan di atas kerangka beton dikerjakan atas alas logam timah hitam yang kuat namun lembek, sehingga segala suara berfrekwensi tinggi dan menengah menghilang dalam bahan yang lembek itu.

Sangat berguna juga ialah pemasangan lapisan lambrisering atau panil-panil kayu pada dinding-dinding dalam. Atau juga pemakaian bahan langit-langit yang tidak merupakan penghantar bunyi yang baik.

Tetapi dalam praktek, seumumnya kualitas akustik bangunan tidak terlalu baik dalam gedung-gedung modern yang cenderung memakai beton, besi, kaca luas, dinding-dinding tipis dan bahan-bahan yang lebih mengabdi selera keindahan tertentu daripada menjawab tuntutan teknis akustik yang dibutuhkan oleh bangunan serta penghuninya.



Dinding beton berakustik keras dapat diperlunak bila diberi pola relief dalam.



Gambar No. 98

9.0 **Umum**

a. Cahaya dan terang adalah prasyarat untuk penglihatan manusia. Dalam kegelapan total kita tidak melihat apa-apa. Namun sebaliknya dalam terang yang sangat berlebihan kita tidak tahan juga kesilauannya. Suatu daerah optimum tertentu antara terang maksimum dan minimum kita butuhkan untuk bisa melihat sehat dan nikmat. Berapa seharusnya ukuran terang yang kita butuhkan tergantung dari macam kerja apa yang kita lakukan di ruangan. Kebutuhan orang kantor yang menulis dan membaca untuk waktu lama, kebutuhan representatip bangsal pesta pertemuan agung, saat kita senggang melihat TV atau hanya santai melihat orang di jalan, semua itu minta jawaban terang/penerangan yang berlainan. Tentulah pengalaman seorang perencana dapat menolong banyak dalam perhitungan cahaya baik, yang dari kodratnya terdiri dari banyak sekali pengaruh yang kompleks. Semua perhitungan teoretis sebenarnya hanyalah pertimbangan dari satu dua segi belaka yang rumit itu. Namun kita bisa mencari beberapa pegangan yang cukup menolong perencanaan kita, sehingga penerangan bagi ruangan-ruangan yang kita atur dapat memuaskan, nyaman namun terutama sehat.

b. Ada dua macam terang:
Terang yang berasal dari matahari

1) secara *langsung*
2) dan *tidak langsung*, sebagai pantulan cahaya matahari oleh awan-awan serta benda-benda di keliling rumah kita.
3) Terang dari lampu atau sumber-sumber cahaya buatan manusia.

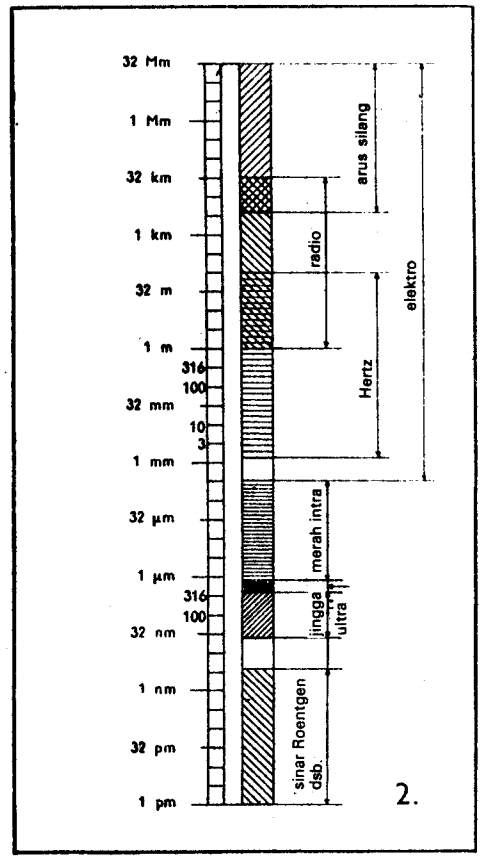
9.1 **Cahaya dan terang sebagai gejala aliran gelombang magnit elektro**

Sebelum kita meningkat pada pembicaraan tehnis lebih lanjut, sebaiknya kita mengulang sedikit beberapa paham fisika tentang cahaya dan terang.

Dari fisika kita tahu, bahwa cahaya dapat kita mengerti sebagai arus partikel-partikel (bagian materi) atau/dan sebagai arus gelombang magnit elektro. Untuk keperluan sehari-hari sangat bermanfaat kita melihat

cahaya dalam kedua bentuk pemahaman itu, meskipun hal itu tidak perlu kita terlampau mendalaminya. Pertama kita lihat segi gelombangnya:

a. Dari skala panjang gelombang sinar-sinar magnit elektro, kita melihat, bahwa spektrum cahaya merupakan salah satu matarantainya. Dan semakin beralih juga warnanya: dari jingga violet ke merah *(Gambar 99)*. Perpaduan warna-warni dari violet ke hijau ke kuning ke merah seperti tampak dalam pelangi berkesan netral, putih.



Gambar no. 99 Skala radiasi magnit-elektro dan panjang gelombangnya.

b. Tetangga terdekat dengan sinar merah adalah sinar-sinar dengan frekuensi yang lebih rendah dari pada frekuensi merah dan karenanya disebut sinar-sinar merah infra. Sinar merah infra adalah sinar-sinar panas.

c. Tetangga di atas sinar-sinar violet disebut sinar violet-ultra dan merupakan sinar-sinar yang berdaya kimia. Pengaruh panas dan kimia tadi masih bekerja juga dalam daerah sinar cahaya. Semakin menjauh dari

daerah asal sinar merah-infra violet-ultra tentulah semakin menurun juga pengaruh panas/kimia.

d. Susunan warna pada sinar matahari punya akibat yang terasa spontan pada kesan psikologis penglihatan kita. Warna merah wajar mengesankan rasa gairah dan kehangatan, sedangkan warna biru mengesankan rasa hening dingin. Kuning membuat ria dan hijau membuat hati kita tenang. Putih tidak berbicara apa-apa dan hitam jelas mengatakan kekosongan.

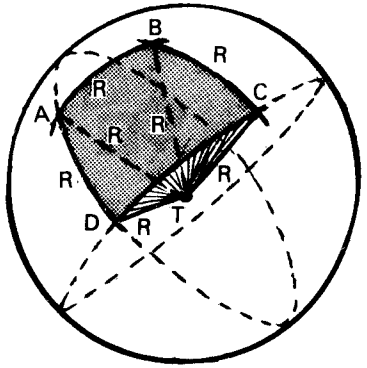
Mata kita lebih peka terhadap bagian tengah dari spektrum cahaya/warna dari pada terhadap yang ekstrim violet atau merah. Sampai akhirnya gelombang-gelombang violet ultra dan merah-infra sudah tidak lagi kelihatan mata. Itu semua penting kita perhatikan demi masalah nanti mengenai pemberian warna pada bangunan serta kombinasi-kombinasinya. Warna memang merupakan sesuatu yang vital bagi perkembangan pribadi dan suasana rasa manusia.

9.2 **Beberapa paham fisika cahaya**

a. Ibarat sungai atau arus listrik, kita menyebut juga adanya: Sumber cahaya yang mengalirkan ENERGI cahaya dalam *JUMLAH BANYAK cahaya (Q) tertentu. Jumlah Q per kesatuan waktu (t) disebut ARUS cahaya.*
Jadi:

$$\Phi = \frac{Q}{t}$$

b. Arus cahaya tidak seperti sungai mengarus ke satu dua arah, tetapi memancar ke segala arah. Seperti dari titik-tengah bola ke arah seluruh bidang permukaan bola. *(Gambar 100)*.Pada suatu permukaan suatu bidang bola yang berjari-jari R kita iris pada permukaan bola tersebut selembar bidang bola seluas R^2, berbentuk bujur sangkar bidang bola.



Gambar No. 100

(ABCD). Garis keliling bujur sangkar bola itu kita hubungkan dengan titik-tengah bola. Maka berujung pada titik-tengah bola (T) dan diapit antara garis-garis/bidang penghubung tersebut terbentuklah suatu sudut ruang. Sudut ruang sebesar itu disebut 1 steradial. Dengan kata lain: Luas bidang permukaan bola yang diiris oleh satu steradial adalah selalu pangkat dua dari jari-jari bola. Dan karena luas bola adalah $4\pi R^2$, maka jumlah total dari sudut-ruang bola adalah 4π.

Arus Cahaya (Φ) yang dipancarkan per satuan sudut ruang (ω) pada satu arah tertentu disebut *KEKUATAN RATA-RATA cahaya* (I).
Maka:

$$I_r = \frac{\Phi}{\omega}$$

c. Bila ada arus cahaya jatuh pada permukaan bidang bola seluas S, maka permukaan tadi menjadi *tenang*. Semakin besar cahaya (Φ), semakin besar juga KEKUATAN CAHAYA atau *KEKUATAN PENERANGAN* di situ (E).
Jadi:

$$E \text{ rata-rata} = \frac{\Phi}{S}$$

d. Sumber cahaya secara prinsip diartikan sebagai suatu TITIK. Bila dianggap titik maka di titik itu terdapat harga-harga limit:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \text{ dan } E = \frac{d\Phi}{dS}$$

Tetapi dalam praktek biasanya sumber cahaya dianggap sebagai suatu bidang sumber cahaya dengan I rata-rata dan menghasilkan E rata-rata tadi.

e. Sumber cahaya dapat merupakan *sumber cahaya PRIMER,* yaitu yang memang adalah penyebab pertama suatu arus cahaya (misalnya matahari atau kawat pijar bola lampu). Tetapi dapat pula merupakan *sumber SEKUNDER* yang sebenarnya hanya memberi terang karena diberi terang (misalnya bulan, gelas buram bola lampu atau kap lampu dan sebagainya.

f. Untuk kedua-duanya kita dapat mengukur kekuatan cahayanya atau kekuatan terangnya per kesatuan luas bidang yang bercahaya (menurut proyeksi pada arah penyinaran). Itu disebut *KECERLANGAN* atau *KEPADATAN CAHAYA* atau *LUMINANSI* (B).
Bila ada dua bidang sumber cahaya yang berkekuatan cahaya rata-rata

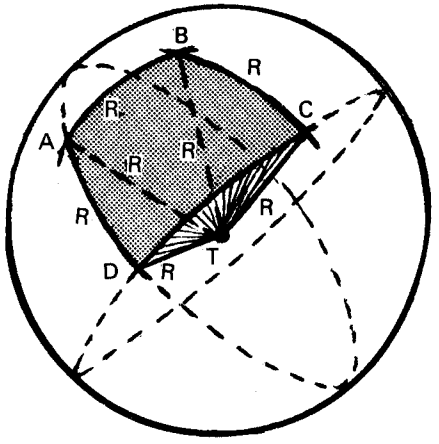
sama (E_r = sama) tetapi luas mereka (S) tidak sama, maka yang berbidang terang(S)lebih kecil akan tampak lebih cemerlang dan menyilaukan dari pada yang lebih luas. Pada bidang kecil itulah seluruh kekuatan cahaya Er dipadatkan dan karenanya nampak cemerlang.

g. Biasanya bidang sumber cahaya tidak homogin penyinarannya. Maka yang dicatat adalah LUMINANSI RATA-RATA. Luminansi penting kita ketahu berhubung dengan masalah kesilauan terhadap mata, dan juga kenikmatan serta watak penerangan yang ingin kita capai. Hal itu berhubungan juga dengan persoalan pemantulan cahaya (refleksi) dan perbedaan kontras antara yang terang dan yang gelap dalam bayangan.

h. Kesatuan dasar yang dipakai untuk mengukur cahaya dan terang ialah kesatuan kekuatan cahaya yang diukur dengan lilin (candela). Atas sendi ukuran lilin itu kita memperoleh kesatuan-kesatuan lainnya.:

Kesatuan dari	simbol	nama	simbol
kekuatan cahaya	I	lilin	cd
kekuatan penerangan (terang)	E	lux	lx
aliran cahaya	Φ	lumen	lm
jumlah banyak cahaya	Q	lumen sekon	lmsk
luminansi kecerlangan	B	stilb	sb

i. Demikian kita menemukan ketentuan hubungan: Bidang bola berjari-jari 1 meter yang diterangi oleh titik-tengahnya yang merupakan sumber cahaya dengan kekuatan-cahaya (I) sebesar 1 cd menerima penerangan dengan kekuatan penerangan (E) 1 lx. *(Gambar 100)*



Gambar No. 100

Selain itu, 1 m^2 bagian bidang bola yang berjari-jari 1 m dan bertitik-tengah suatu sumber cahaya dengan kekuatan cahaya 1 cd mendapat aliran cahaya 1 lm. Jadi untuk memperoleh suatu kekuatan penerangan yang merata sebesar 1 lx pada bidang seluas 1 m^2 dibutuhkan arus cahaya sebesar 1 lm.
atau:

$$E\ (lx) = \frac{\Phi\ (lm)}{S\ (m^2)}$$

Dan karena sinar-sinar cahaya itu menerangi bagian bujur sangkar 1 m^2, maka sudut ruang yang terkurung oleh sinar-sinar itu adalah tepat 1 steradial. Jumlah total arus cahaya sumber seperti di atas 4 lm, yakni 12,57 lm.

j. Cahaya adalah suatu bentuk energi. Arus cahaya I adalah jumlah energi cahaya yang mengalir per kesatuan waktu t. Maka jumlah banyaknya cahaya yang mengalir dalam sekian sekon adalah sekian lumen sekon juga (lmsk):

$$Q = I.t$$

Jika 1 cm^2 bidang yang memancarkan cahaya berkekuatan 1 cd ke arah garis normal bidang, maka bidang tersebut mempunyai kecerlangan 1 sb. Atau:

$$B_{\text{rata-rata}}\ (sb) = \frac{I\ (cd)}{S\ (cm^2)}$$

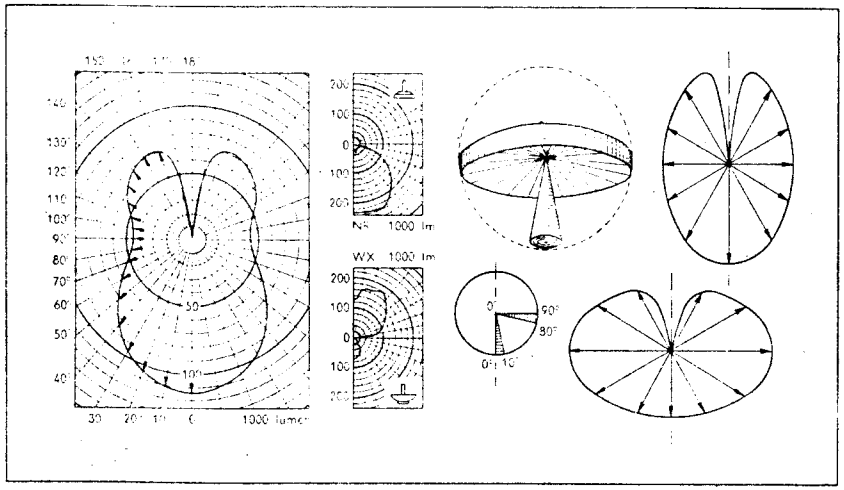
Selanjutnya, demi mudahnya uraian, kita membicarakan dulu soal-soal sekitar sumber-sumber cahaya lampu (bukan matahari).

k. Nota tambahan: arti asli:
lilin = candela (bahasa Latin)
lux = cahaya (bahasa Latin, terutama untuk matahari dan bulan)
lumen = terang (bahasa Latin terutama untuk pelita, lilin dan sebagainya)
stilb = singkatan dari stilbotes (bahasa Yunani, kecerlangan, kilauan)

9.3 Diagram kekuatan cahaya rata-rata

a. Cahaya yang terpancar ke segala pihak secara merata homogen hanya terdapat dalam teori. Dalam kenyataan lampu biasa ada pihak-pihak yang kuat arus cahayanya, ada sisi-sisi yang kurang mendapat arus cahaya. (untuk selanjutnya yang akan kita bicarakan di sini hanyalah sumber cahaya berupa lampu listrik). Bila di sekitar lampu kita ukur kekuatan cahaya dan

kita catat lokasi titik-titik yang mencapai lux yang sama, ternyata bidang kedudukan titik-titik tersebut bukanlah merupakan suatu bidang bola, melainkan lazimnya suatu bidang perputaran lengkung yang simetris pada satu sumbu.



Gambar No. 101

Karena bidang lengkung itu simetris pada satu sumbu, maka garis lengkung yang merupakan salah satu meridian melalui sumbu itu cukup mewakili bidang perputaran lengkung tadi dan cukup memberi gambaran (diagram) bagaimana pembagian penerangan yang disebabkan oleh lampu itu. *(gambar 101)*

b. Dari setiap lampu bisa diperoleh diagram semacam itu. Biasanya diagram itu digambar untuk titik-titik yang mencapai cahaya sejumlah 1000 lmsk. Dari diagram tersebut dapat mudah kita baca kekuatan dan daerah kerja penyinaran suatu sumber cahaya. Semakin luas permukaan yang dipeluk oleh garis 1000 lmsk, semakin itu pertanda makin kuatnya daya penerangan sumber yang bersangkutan. Dari diagram tampak juga, ke pihak mana serta bagaimana pembagian penyinaran cahaya itu kuat atau lemah.

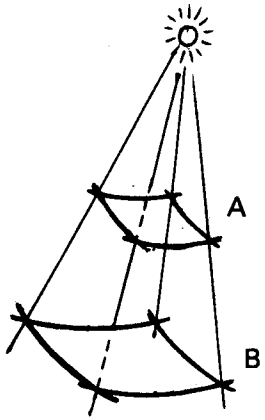
9.4 Penempatan sumber terang

a. Kita tahu, bahwa sinar-sinar cahaya mengalir membias. Dari gambar no 103 tidak sulit dipahami, bahwa jumlah arus cahaya yang jatuh pada bidang bola A dan B tetap sama. Akan tetapi kekuatan penerangannya pada bidang A lebih besar dari pada di bidang B. *(gambar 102)*. Bila bidang B terbentang n kali lebih jauh daripada bidang A (terhadap titik-tengah

sumber cahaya maka kekuatan penerangan pada B. adalah $1/n^2$ lebih lemah dari yang terdapat pada A).

$$E = \frac{I}{r^2}$$

(Disebut Hukum Utama Kuadrat Fotometri)



Gambar No. 102

b. Berdasarkan rumus itu, dari *(gambar 103a)* mudah dihitung juga, bahwa: di titik P (lebih tepat: bidang sangat kecil di P yang tegak lurus terhadap r)

$E = I/r_2.\cos\alpha$ dan karena $r = t/\cos\alpha$,maka

$$E = \frac{I}{t^2}\cos^3\alpha$$

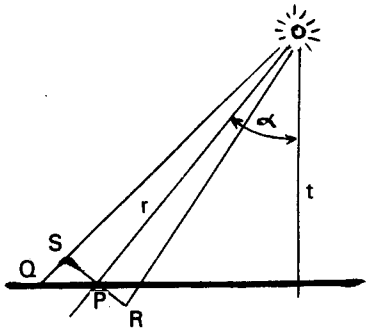
(disebut Hukum Kosinus Fotometri)

Itulah rumus-rumus umum untuk mencari kekuatan penerangan pada setiap titik yang diterangi oleh suatu sumber cahaya. Dengan pencatatan (menurut skala tertentu) penerangan dari sebanyak mungkin titik-titik pada suatu bidang kerja di bawah suatu sumber cahaya, kita dapat memperoleh suatu gambaran bagaimana tinggi rendah (terang gelap) kekuatan penerangan pada suatu bidang-kerja. Hal itu dapat kita lakukan untuk satu sumber cahaya atau untuk beberapa sumber. *(gambar 103b).*

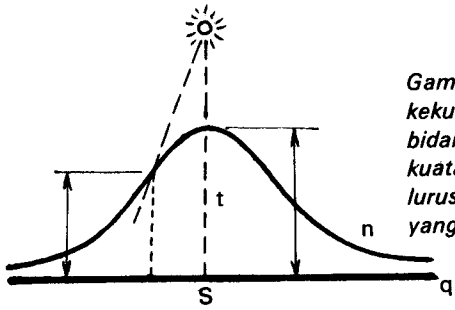
c. Jarak t disebut *TINGGI PENEMPATAN* sumber cahaya (lampu) terhadap suatu BIDANG-KERJA (bidang kerja itu di Indonesia dihitung 75

cm di atas lantai). Jika kita ketahui beberapa cd kekuatan cahaya lampu (I) dan berapa lux kekuatan penerangan (E) yang ingin kita capai pada

$$t = \sqrt{\frac{I}{E}}$$



Gambar No. 103a

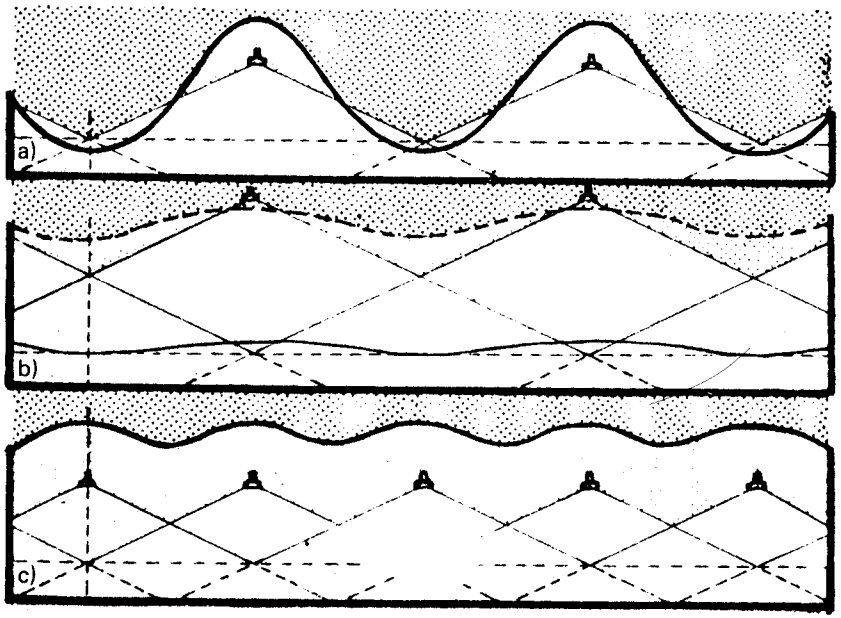


Gambar No. 103b Kurva n menunjukan kekuatan cahaya pada titik titik tertentu bidang kerja q. Tampak bahwa kekuatan cahaya di titik S yang ada tegak lurus di bawah sumber cahaya adalah yang paling besar.

9.5 **Pertimbangan ekonomi pemasangan lampu**

a. Diagram cahaya dari satu atau beberapa lampu bermanfaat untuk menghitung biaya energi cahaya yang harus kita bayar demi suatu hasil penerangan tertentu. Dalam *(gambar 104a)* tampak dua lampu (dengan kap) yang dipasang demikian cara, sehingga jarak satu sama lain menghasilkan kerucut-kerucut penerangan yang tidak tumpang-menumpang. Tampak bahwa kontras antara yang mendapat terang dan yang masih agak gelap terlalu besar. Untuk memperbaiki itu kita coba pemasangan lampu-lampu tersebut dua kali lebih tinggi. Semakin tinggi lampu, semakin merata penerangan pada bidang kerja. Tetapi akibatnya: penerangan pada bidang kerja tinggal $(1/2)^2 = 1/4$ E semula. Maka untuk mengembalikan E semula, lampu dapat kita ganti dengan yang baru dan yang berkekuatan 4 kali lebih dari semula. *(gambar 104b).* Jalan lain ialah bila kita menggantung-

kan lampu pada ketinggian yang sama seperti semula, tetapi jumlah lampu (dengan kekuatan cahaya yang sama) kita perbanyak dua kali *(gambar 104c)*.
Ternyata dari diagram, bahwa lengkung grafik penyelesaiannya kedua lebih tinggi dari pada lengkung menurut penyelesaian pertama. Dengan kata lain: pada penyelesaian kedua relatip lebih banyak energi cahaya ter-



Gambar No. 104

buang dengan hasil yang sama. Dengan diagram semacam itu kita bisa menghitung tepat, pada jarak berapa lampu-lampu kita pasang, dan dengan penggunaan berapa kekuatan cahaya lampu, agar keseluruhan penerangan menjadi ekonomis.

b. **Rendeman atau daya terang** Selain mengatur ketinggian penggantungan dan jarak lampu-lampu, demi ekonomi penerangan, kita harus memperhatikan juga rendeman atau daya terang suatu sumber cahaya. Pentinglah pertanyaan, berapa energi (biasa sekarang energi listrik) yang pada suatu lampu diubah menjadi energi cahaya, atau perbandingan antara:

$$\frac{\textbf{jumlah lumen yang dihasilkan (cahaya)}}{\textbf{jumlah watt yang dibutuhkan (listrik)}}$$

ataupun yang disebut *kekuatan cahaya spesifik.*

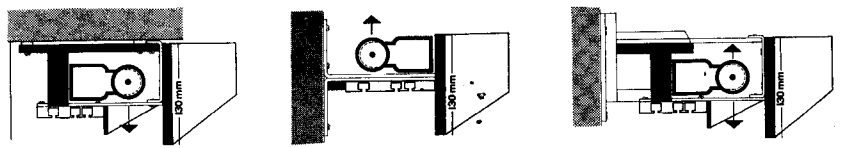
Pada bola lampu tertentu sering kita temukan tulisan ini dari pabrik: 1000 W = 16750 lm. Artinya: kekuatan cahaya spesifik lampu itu adalah 16750/1000 lm/W = 16,75 lm/W. Lampu lain misalnya 25 W menghasilkan cahaya 340 lm. Kekuatan spesifiknya adalah 13,6 lm/W. Jelaslah, bahwa lampu pertamalah yang lebih ekonomis karena punya rendeman yang lebih besar. Seumumnya ternyata, bahwa semakin besar daya Watt pada lampu, semakin ekonomis juga lampu itu dari segi kemampuan penerangannya. Dari segi lain, semakin rendah voltase pada kawat-kawat aliran listrik, semakin tambah kebocoran energi listrik yang berubah menjadi panas pada kawat. Semakin tinggi voltase, semakin ekonomis rendeman penghantaran listrik.

9.6 Sistem penyinaran

Yang dimaksud ialah cara bagaimana cahaya diarahkan kepada bidang kerja.

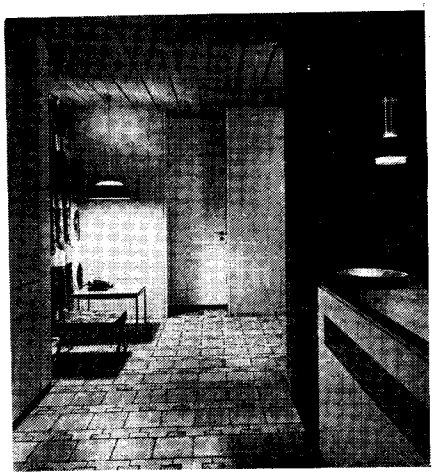
a. *Penyinaran langsung*
Sinar cahaya dari sumber cahaya dan yang dipantulkan oleh bidang-bidang reflektor diarahkan langsung pada bidang kerja.

b. *Penyinaran tidak langsung* memakai penerangan yang menghalang-halangi sinar cahaya datang langsung pada bidang kerja. Penyinaran hanya boleh melalui refleksi suatu bidang sekunder. Bidang sekunder itulah yang langsung diterangi sumber cahaya, lalu bertugas memantulkan ke bidang kerja. *(gambar 105)*



Gambar No. 105 Beberapa contoh pemasangan lampu bumbung di atas tirai-tirai jendela atau dinding.

Kita kenal dua macam pencampuran:
– penerangan yang lebih dikuasai penyinaran langsung
– dan yang lebih dikuasai penyinaran tidak langsung



Gambar No. 106 Ruangan bisa hidup oleh puisi pencahayaan. Pencahayaan tidak hanya bermaksud agar ruangan menjadi terang belaka. Bahkan sering lebih baik ruangan jangan "terang", tetapi biar remang-remang saja. Jadi pencahayaan masih berfungsi: menciptakan suasana yang tepat untuk menjawab kebutuhan tertentu dari ruangan tersebut. Demi pencapaian itu kombinasi (atau lebih tepat: gubahan) cahaya langsung (lampu ke benda) dan tak langsung (pemantulan cahaya oleh benda ke benda) jauh lebih vital dari pada penerangan melulu.

c. *Penerangan bawur (difus)*
yaitu cara penerangan yang arah sinarnya dibuat serba ke mana-mana, dari mana-mana serta merata, hingga tidak tampak keras *(gambar 107)* Rendemen yang terbesar ada pada cara penerangan langsung. Tetapi watak dan suasana ruang yang diterangi sinar-sinar tidak langsung atau difus adalah lebih halus, lembut dan nyaman. Hasil terbaik ada di tengah-tengah antara 2 macam penerangan kombinasi langsung-tak langsung tersebut di atas. (jadi antara a dan b).
Seumumnya sangat perlu untuk membuat campuran cahaya yang langsung, tidak langsung maupun difus. Sebab, cahaya difus mengurangi kepekaan plastisitas (penglihatan tiga dimensi) dan karenanya tidak memberi bayangan. *(gambar 106)*.

9.7 Pengaruh armatur

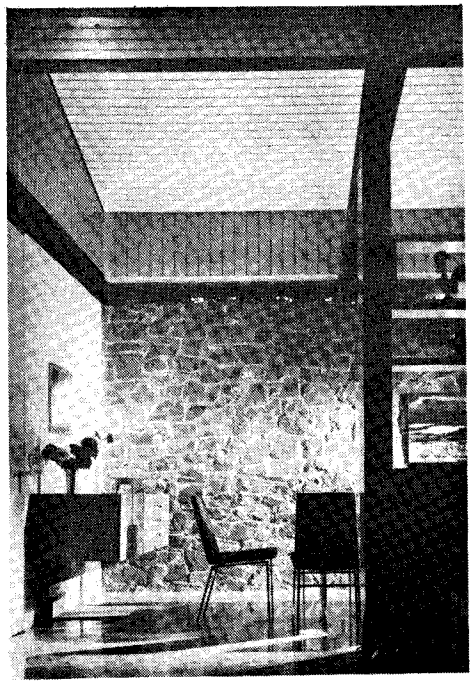
a. Reflektor-reflektor dan alat-alat pengatur arah sinar lampu sangat menambah kekuatan cahaya. Yang paling baik memantulkan kembali cahaya ialah: permukaan cermin khroom pada kaca yang terarah. Yang sama baik juga ialah email putih, nekel, perak. Aluminium baik tetapi seperti nekel, kuningan dan sebagainya mudah dioksidasi oleh udara. Kap-kap lampu dari kertas Jepang, plastik-plastik transparan, gelas-gelas kristal dan sebagainya lebih berfungsi sebagai pelembut kecerlangan atau demi penciptaan suasana. Sangat bagus ialah kaca dengan lapisan kaca opal atau lapisan kaca susu.

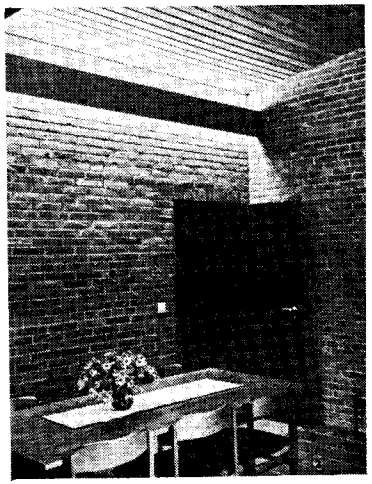
b. Seperti disinggung tadi, armatur (alat-alat perabot lampu) bukan hanya punya arti dari segi rendemen cahaya, yang memang sangat penting untuk pabrik, gedung kesenian dan sebagainya. Dalam rumah, gedung-gedung representatip, bahkan dalam kantor-kantor besar maupun toko sekalipun pada masa sekarang unsur pertimbangan keindahan dan pemberian suasana melebihi soal rendemen. Sering ekonomi cahaya dikorbankan secara bertanggung-jawab, asal hasil dari suasana penerangan yang dicita-citakan benar-benar memadai. Di sini pun segi kebudayaan sangat berbicara.

9.8 Pengaruh keadaan dinding, langit-langit, lantai dan sebagainya

(lihat gambar 106 s/d 109)

a. Seumumnya dapat dikatakan, bahwa semakin muda warna bidang-bidang ruangan (dinding, lantai, langit-langit, perabot rumah dan sebagainya) ataupun mendekati putih, penerangan ruangan semakin baik dan ekonomis, karena jumlah cahaya yang dipantulkan kembali oleh bidang-bidang itu tidak sedikit. Perlu diperhatikan bahwa walaupun bidang-





Gambar no. 107b

Gambar no. 107a

Gambar No. 107c

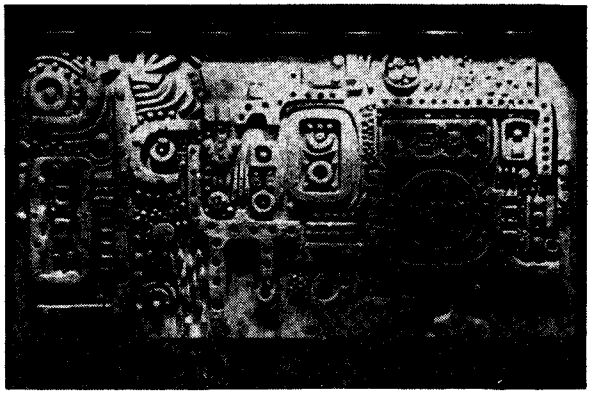
Gambar No. 107c. Tampak dari gambar-gambar berikut ini, bahwa jumlah sumber cahaya merupakan unsur penting penyebaran pencahayaan juga, demi pembentukan suasana yang tepat. Beberapa lampu kecil sering punya hasil yang lebih bagus dari pada satu lampu besar yang lebih banyak makan energi listrik.

bidang yang halus mengkilau merupakan reflektor bagus, akan tetapi sering tidak memberi kenikmatan bagi mata.

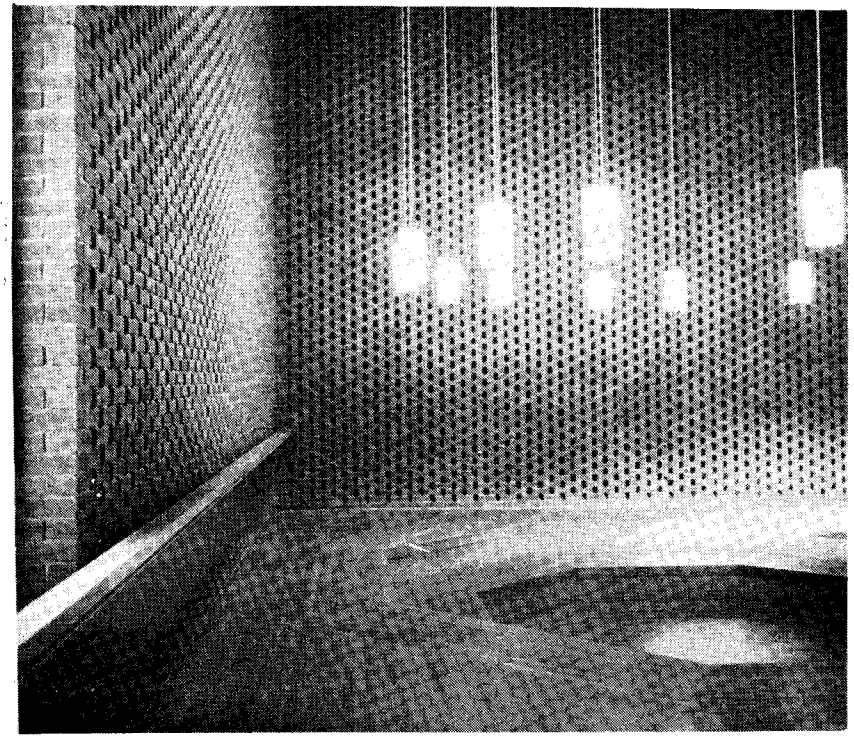
b. Lantai-lantai sebaiknya jangan terlalu putih bila ruangan sudah cukup penerangannya, karena membuat mata penat. Lantai yang agak gelap menyejukkan mata. Lantai mengkilat memang representatip, akan tetapi sering mengganggu mata. Maka permadani sering dibutuhkan untuk ruangan-ruangan yang representatip karena bersifat membaurkan sinar-sinar cahaya. Juga cat-cat dinding yang kasar atau (mat) membaur lebih resap.

c. Warna muda ringan (warna pastel) menggairahkan dan mengungkapkan rasa fajar muda. Tetapi warna tua pada dinding tidak selalu berkesan buruk atau menyedihkan. Sering bahkan diminta untuk memberi kesan kewibawaan, (tua dan wibawa spontan selalu dihubungkan) atau suasana yang serius, agung bermartabat. Terutama bila itu datang dari panil-panil kayu berwarna tua dan tidak mengkilat.

d. Warna putih merupakan pemantul baik sekali akan tetapi berkesan dingin atau steril (tidak punya watak). Warna kuning gading sering disukai, karena berkesan lebih hangat akrab. Seumumnya kombinasi warna dan motif hiasan dinding merupakan soal yang tidak mudah bagi awam. Perlu diminta pertolongan dari seorang arsitek interior bila kita menginginkan hasil yang bagus. Di sini pun kita harus selalu sadar, bahwa permasalahan bukan hanya menyangkut ekonomi cahaya rasionil, melainkan mengenai soal rasa dan cita budaya manusia juga.



Gambar No. 108 Dinding yang terkena cahaya selanjutnya menjadi sumber (tak langsung) cahaya.



Gambar No. 109 Penerangan ini (ruangan diskusi Universitas di Edinburgh Inggris), tidak ramai, Tetapi cukup punya bahasa yang tidak mati.

e. Dari segi ekonomi dapat berguna daftar dalam Pasal 9.9 yang mencantumkan koefisien-koefisien pemantulan pada pelbagai macam bahan.

f. Kaca-kaca jendela biasanya lebih mengganggu daripada menolong. Selain menghamburkan banyak cahaya keluar, masih juga memberi bayangan-bayangan refleksi yang mengganggu. Tetapi memang sering justru disengaja penghamburan sinar cahaya keluar, bila kita ingin menerangi bagian halaman di luar yang indah dan yang ingin kita integrasikan dengan arsitektur di dalam ruangan. Penerangan yang jatuh pada dedaunan dan sebagainya memberi kesan yang indah.

9.9 Indeks bentuk ruangan dan pengaruh perabot rumah

a. Sering ingin kita memberi ukuran-ukuran yang sangat rasionil pada suatu ruangan dengan pengaturan lampu yang mengingat perbandingan panjang, lebar dan tinggi suatu ruangan. Sebab, dari ukuran-ukuran luas serta susunannya jugalah hasil penerangan ikut ditentukan. Maka ada kalanya bergunalah yang disebut *indeks bentuk ruangan. k.*

$$k = \frac{2p + 8l}{10t} \quad \text{atau} \quad k = \frac{0{,}2p + 0{,}8l}{t}$$

p = panjang
l = lebar
t = tinggi

Jika p = l = t, maka k menjadi 1.
Ini adalah rendemen yang paling rendah. Semakin tinggi angka indeks, semakin baik juga rendemen cahaya. Pabrik-pabrik lampu dapat memberi tabel-tabel lengkap mengenai rendemen itu dengan harga-harga k dari 1 sampai 10.

b. *Faktor refleksi:*
Di bawah ini tercantum faktor atau koefisien beberapa bahan yang punya pelbagai tingkat daya pemantulan sinar. Tentulah dalam suatu ruangan kita temukan bahan banyak dan karena itu perhitungan teliti pastilah menjadi sangat kompleks. Oleh karena itu hal-hal tadi perlu kita ketahui sebagai pengetahuan sehari-hari saja. Terutama untuk melatih kepekaan kita terhadap pengira-ngiraan praktis, pengaruh apa yang dapat kita harapkan atau peroleh dari suatu bahan.

KOEFISIEN REFLEKSI, DIHITUNG UNTUK LAMPU PIJAR YANG JATUH TEGAK LURUS

bahan:	dalam %	koefisien rata-rata untuk cahaya baur dari bidang-bidang refleksi			
		warna:	terang dlm %	cukupan dlm %	gelap dlm %
perak dipoles	88-93				
perak, di belakang kaca	70-85				
email, putih	65-75				
aluminium, dipoles	65-75	putih	80	70	–
aluminium, mat	55-60	kuning	70	50	30
	80-85	kopi susu muda	65	45	25
khroom, dipoles	60-70	kelabu	60	35	20
khroom, mat	52-55	hijau	60	30	12
nekel dipoles	53-63	cokelat	50	25	8
nekel, mat	48-52	biru	50	20	5
blek	69	merah	35	20	10
kuningan	48	hitam	–	4	–

Rendemen penerangan (dihitung dengan prosen) untuk pelbagai sistem penerangan

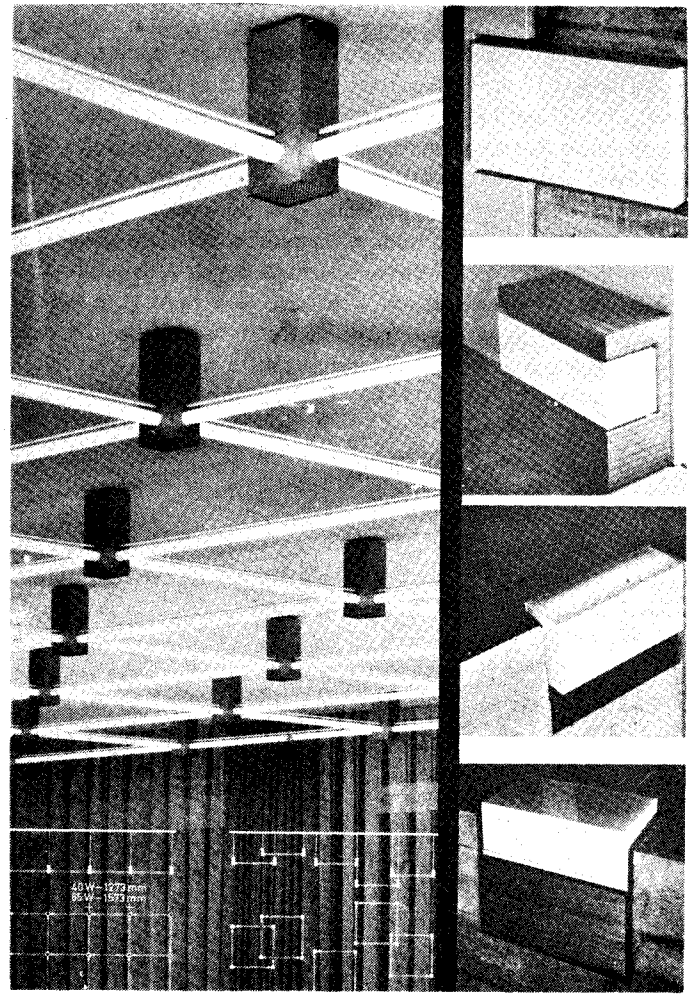
	n
1. Langsung, reflektor cermin kaca	0,65-0,45
2. langsung, reflektor email	0,55-0,45
3. sinar terutama langsung, lampu pijar, atas opal/susu bawah baur	0,45-0,35
4. baur, lampu seluruhnya susu atau opal	0,40-0,30
5. langsung dan tidak langsung, hiasan di atas, bawah terbuka	0,35-0,25
6. terutama langsung, lampu pijar, atas mat, bawah susu/opal	0,35-0,25
7. tidak langsung, reflektor cermin kaca, langit-langit terang	0,25-0,15
8. tidak langsung, reflektor email, langit-langit terang	0,20-0,10

Tampaklah di atas berapa selisih rendemen antara penerangan langsung dan tidak langsung. Angka-angka itu tentulah tidak mutlak untuk semua keadaan, tetapi cukup memberi gambaran jelas demi pertimbangan-pertimbangan kita nanti dalam perencanaan.

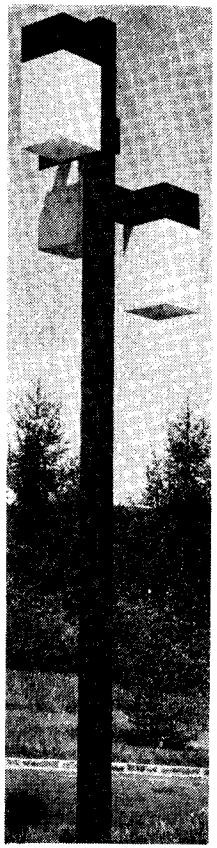
c. *Pengaruh perabot rumah (gambar 110).*
Pengaruh perabot rumah sulit dihitung dalam perencanaan, tetapi baik kita ketahui, bahwa ukuran, letak dan susunan perabot rumah sangat mempengaruhi hasil terakhir dari penerangan ruangan. Sama dengan hal dinding, warna-warna muda dari almari, meja dan taplak meja, kursi, lukisan-lukisan dan sebagainya menambah penerangan.

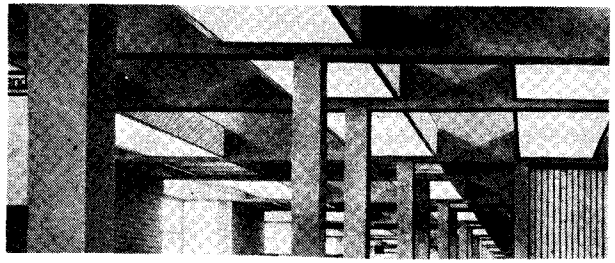
Gambar No. 110 Pengaruh perabot-perabot rumah terhadap pencahayaan serta pemberian suasana dalam suatu ruangan kantor pabrik.

Perlu diperhatikan pembentukan bayangan-bayangan sebagai akibat peletakan perabot rumah. Kontras terlalu tajam antara yang gelap dan terang tidak nyaman. Maka pemasangan suatu almari modern build-in yang merata pada suatu sisi dinding sangat menguntungkan; karena pertama meratakan pantulan sinar, namun juga karena praktis mengurangi jarak-jauh antara lampu dan dinding. Tirai di muka jendela berpengaruh lain bila dilihat terhadap sinar siang atau sinar lampu ruangan. Tirai terhadap sinar siang dari luar mengurangi arus cahaya yang masuk, namun bisa meratakan arus itu dan meneruskannya sebagai sumber cahaya sekunder ke dalam ruangan. Akan tetapi terhadap lampu-lampu di dalam, tirai di muka jendela kaca dapat menambah penerangan, karena memantulkan kembali sebagian cahaya yang hendak lari keluar melalui kaca. Tentu saja warna tirai ikut menentukan pencahayaan juga. Juga di sini perabot rumah bisa berfungsi baik untuk meratakan penerangan di dalam ruangan dan mengurangi kontras bayangan.

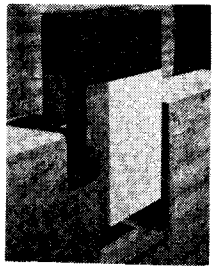


Gambar No. 111a





Gambar No. 111b



Gambar No. 111c

9.10 Kecerlangan, kesilauan

a. Sangatlah penting dalam pengaturan arsitektur cahaya ialah masalah kecerlangan lampu-lampu. Karena kawat pijar lampu biasanya sangat kecil bidang cahayanya, maka itu sangat menyilaukan. Dari sebab itu orang membuat kap-kap lampu yang merupakan perisai/saringan terhadap sinar-sinar yang ingin langsung masuk mata. Kap lampu itu bisa menghalang-halangi sama sekali sinar cahaya selaku perisai. Akan tetapi lebih indah dibuat dari bahan yang dapat menjadi suatu bidang cahaya sekunder bila terkena sinar lampu. Bidang cahaya sekunder relatip lebih luas dan karenanya kekuatan pencahayaan di situ sangatlah kecil atau lunak. Itulah prinsip luminasi yang terdapat pada kap-lampu yang berbentuk bola penuh dari kaca textil berwarna atau rangkaian-rangkaian kaca kristal dan sebagainya. *(gambar 112 s/d 116)*

Maksudnya sama: memperluas bidang cahaya dan karenanya mengurangi kesilauan atau derajad kecerlangan. Kerugiannya ialah selalu: pengurangan rendemen kekuatan cahaya.

b. Oleh karena itu tetap harus ada batas-batas tertentu untuk luminasi yang bertugas melindungi kesilauan pada mata, namun jangan menghamburkan rendemen penerangan.

Sebagai pembanding dapat kita catat, bahwa kecerlangan bulan purnama (dilihat dari bumi) adalah 0,25 sb. Memandang bulan masih terasa tidak silau. Secara praktis kita dapat selalu mengukur kesilauan dengan bulan purnama yang mempunyai kecerlangan 0,25 sb. Sedangkan Bmax untuk ruang dalam adalah 0,30 sb. (lihat tabel di bawah ini) Jadi untuk merencanakan ekonomi cahaya bagi ruangan-ruangan, dibutuhkan pertimbangan-pertimbangan *kekuatan cahaya, kekuatan penerangan* dan *iluminansi*.

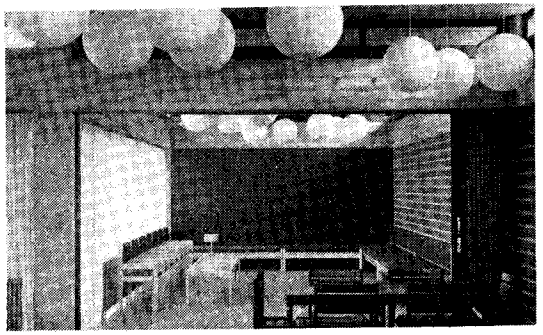
Sumber Cahaya	Kecerlangan sb
matahari (dilihat dari bumi)	165.000
bulan purnama (dilihat dari bumi)	0,25
langit berawan sedikit	0,50
lampu gas air rasa bertekan tinggi	4.000 sampai 140.000
kawat pijar lampu biasa 500 W	1.200
lampu Xenon (asram) 100 W	30.000 sampai 65.000
kawat pijar lampu biasa 100 W	700
bola lampu gelas buram besar	50
bola gas fluoresensi 250 W	30
lampu natrium	10
lampu fluoresensi 40 W	0,45
lampu fluoresensi 25 W	0,30
bola lampu gelas buram kecil	5
korek api, lilin	0,75

9.11 Jenis lampu listrik

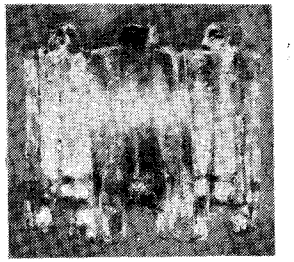
Kita kenal dua jenis lampu berdasarkan sistem pencahayaannya. Yang satu ialah:

a. *lampu fluoresensi.* Di sini proses pengubahan energi listrik menjadi energi cahaya berlangsung di dalam suatu gas pada *tingkat atom,* dan tidak disertai oleh penghasilan energi panas banyak (lampu dingin) *(lihat gambar 111, a,b,c).*

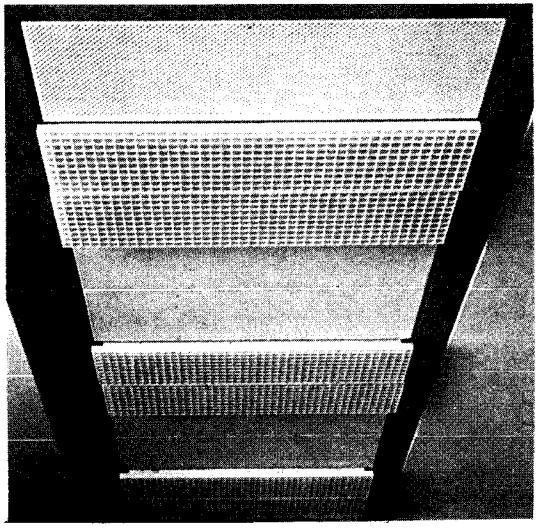
b. lampu pijar yang terangnya datang dari benda (kawat) yang panas, di mana sebagian energi berubah menjadi energi panas dan sebagian menampakkan diri sebagai energi cahaya. Di sini energi cahaya timbul dari energi listrik yang berlangsung pada *tingkat molekul,* dan disertai pengeluaran energi panas (lampu panas) (Gambar 113, 116 s/d 119).

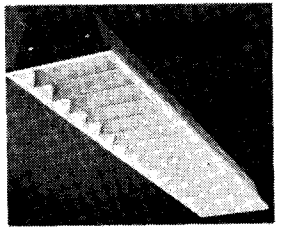


Gambar No. 112



Gambar No. 113

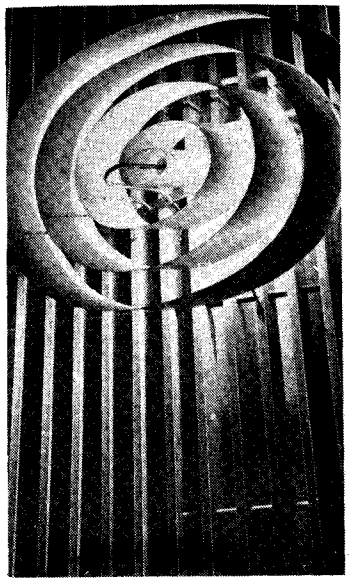


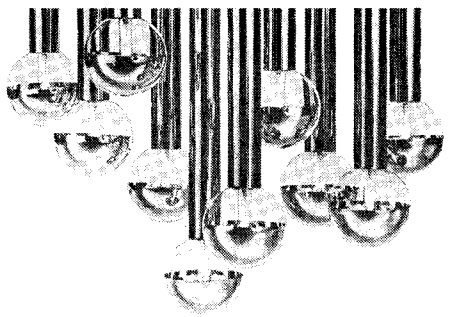


Gambar No. 114b

Macam-macam jenis lampu dengan perluasan/penyebaran bidang pencahayaan demi kecèrlangan yang tak terlalu besar dan cahaya yang baur.

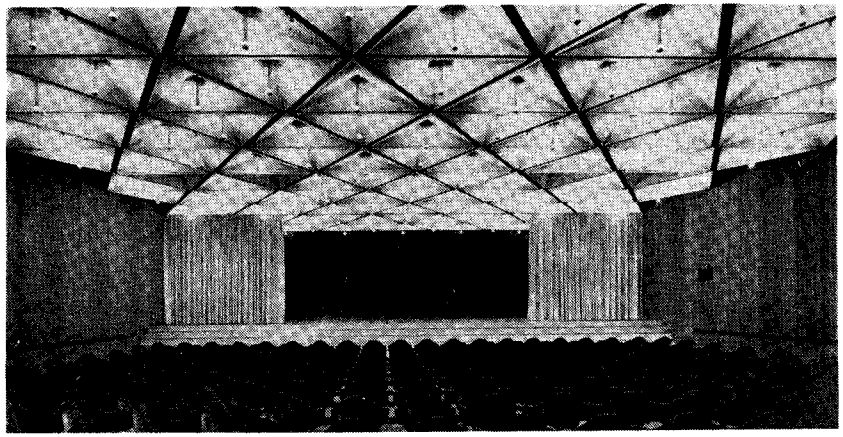
Gambar 114a





Gambar No. 116a

Gambar 115



Gambar No. 116b Pencahayaan tak langsung dari langit yang terjadi sejenis bola lampu dengan pelapisan sisi bawahnya yang bekerja sebagai reflektor.

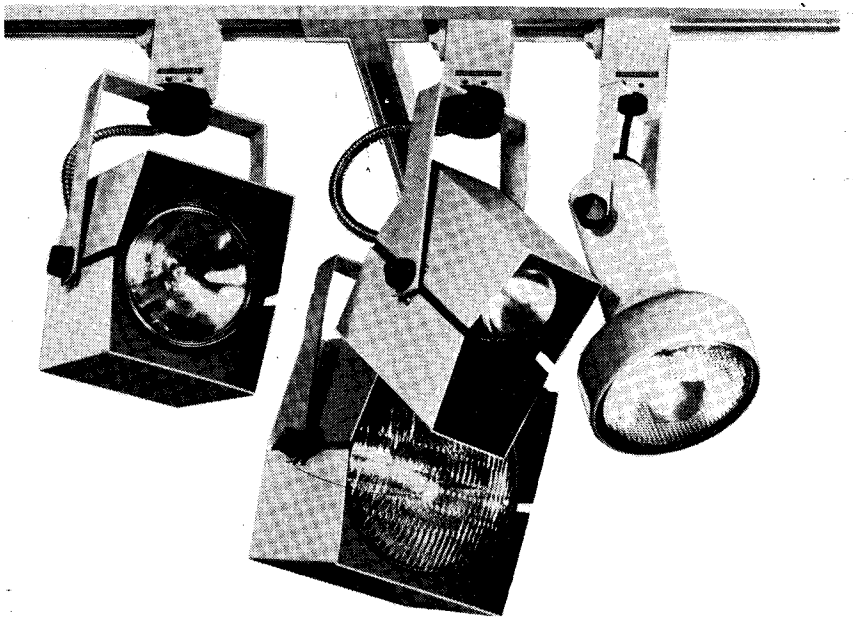
Keterangan tentang 9.11 a

1) *Lampu-lampu Fluoresensi* berbentuk pipa atau bumbung dan secara salah kaprah disebut oleh khalayak ramai "lampu neon". Sebenarnya sebutan lampu neon hanya berlaku untuk lampu-lampu flouresensi yang diisi dengan gas neon. Sebab, kita kenal juga pengisian lampu fluoresensi dengan gas *natrium*, uap *air-raksa, helium, argon* dan sebagainya. Nama yang mudah untuk rakyat biasa mungkin sebaiknya: lampu gas, karena sumber cahaya memanglah atom-atom gas itu yang agak berubah susunan dalamnya dan yang mengakibatkan pembebasan energi cahaya. (seperti dalam kunang-kunang).
Nama T.L. hanya berarti *tubelight* (cahaya pipa) yang tidak begitu logis artinya. Lampu-lampu gas yang berprinsip pada *katode dingin* membutuhkan tekanan Volt tinggi untuk bisa bekerja. Maka membutuhkan transformator dan alat pendorong pertama untuk mempertinggi tekanan. Sedangkan pada lampu-lampu yang disebut ber*katode panas,* transformator hanya berfungsi sebagai beban (balast) atau diseri dengan suatu lampu bola pijar biasa khusus dan yang berfungsi dua: menjadi alat pendorong pertama dan kedua menyempurnakan cahaya lampu gas yang terlalu bawur (difus) dengan cahayanya yang terarah.

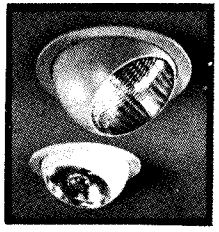
2) Pada lampu-lampu gas lain, pipa gelas diisi dengan gas tertentu yang *menimbulkan warna.* Gas *neon* (lampu neon dalam arti yang sebenarnya) menimbulkan warna merah, gas helium memberi warna putih, dan campuran *neon, argon* dan uap air raksa bisa menimbulkan warna biru. Gas *natrium* dengan cara khusus menimbulkan warna oranye-kuning. (lampu natrium menghasilkan panas, lainnya dapat dikatakan tidak). Gas *Xenon* praktis memiliki spektrum yang hampir menyamai cahaya matahari dan karenanya sangat bagus mengungkapkan segala warna.

3) Dalam lampu-lampu gas yang sering disebut lampu TL dipakai uap air raksa yang mengeluarkan sinar-sinar ultra violet. Sinar-sinar tersebut pada saat menyentuh bedak putih pada sisi dalam pipa gelas akan berflouresensir dan nampak sebagai cahaya. Dari susunan bedak dapat didapat bermacam skala warna: cahaya siang, putih, putih dingin putih hangat dan seterusnya.
Lampu-lampu TL punya rendemen besar dan sangat awet (hampir tak terbatas selama menyala). Keawetan itu berkurang bila kerap dinyalamatikan. Lampu TL sebaiknya dinyalakan terus saja, selama itu masih tidak melampaui batas ekonomis pembiayaan energi listrik.

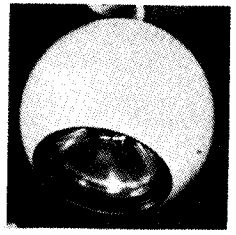
4) Dilihat dari jumlah Watt yang mereka butuhkan, lampu-lampu gas jauh lebih ekonomis dalam kekuatan cahaya daripada lampu-lampu pijar biasa. Hanya warnanya dingin steril.



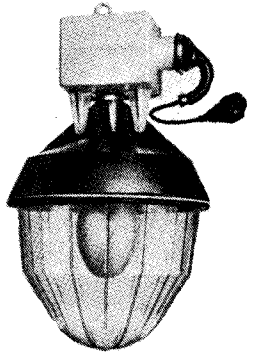
Gambar No. 117. Untuk toko besar, ruangan pameran, teater dsb., sekarang digunakan lampu-lampu dengan penyinaran yang memusat. Dan yang dapat disetel kedudukannya dengan mudah, karena mereka dapat digeserkan pada rel-rel lampu. Rel-rel tsb sekaligus berfungsi sebagai penghantar listrik yang dibutuhkan, tanpa kabel satupun seperti yang umum kita lihat pada penghantaran konvensionil.



Gambar No. 118a



Gambar No. 118b Beberapa contoh lampu dengan penyinaran yang memusat dan dapat diatur arahnya.



Gambar No. 119 jenis lampu dengan pengaman untuk pabrik-pabrik dan ruang kerja lain.

Keterangan tentang 9.11 b

Lampu-lampu pijar

1) Lampu pijar menyinarkan cahaya dari sebuah kawat (lazimnya wolfram yang bertitik-leleh sangat tinggi. Karena logam yang bernyala/berpijar dalam vakuum udara mudah menguap, padahal di dalam bola lampu tidak mungkin diberi hawa udara biasa yang bisa ikut bereaksi dalam nyala pijar, maka bola diisi dengan gas yang netral, biasanya argon. Kerugiannya ialah, bahwa gas merupakan penghantar panas yang lebih baik dari kehampaan dan karenanya membuat lampu menjadi panas.

2) Menurut kebutuhan, baik gelas bola lampu maupun gas di dalamnya dapat dibuat memberi warna ataupun terang sama sekali. Dapat juga gelas dibuat kasar (mat) dari luar (oleh alat penyemprot pasir halus) atau dari dalam oleh suatu asam tertentu. Kaca bisa juga diberi lapisan warna dari luar atau dibuat dari gelas opal.

3) Cahaya lampu-lampu pijar tidak seperti cahaya matahari, selalu condong ke merah atau kuning dan kurang biru atau violet. Tetapi itu justeru penting, bila kita ingin memberi suasana dalam ruangan. Lampu-lampu gas, TL dan sebagainya biasanya berwarna putih, bahkan condong ke biru. Berkesan dingin, keras atau bersuasana pabrik, laboratorium, kantor, bisnis dan sebagainya.

Warna lampu bola pijar biasa lebih mengesankan kehangatan, kemesraan, keakraban dan sebagainya sehingga untuk suatu ruangan keluarga atau tempat-tempat ibadat dan sebagainya lebih mengena. Kombinasi dari dua macam watak cahaya itu sering perlu.

4) Bahan-bahan tembus cahaya

Bahan:	tebal mm.	transmisi hantaran %	refleksi pantulan %	absorpsi serapan %	tingkat penyebaran cahaya.
Kaca polos terang	1- 4	90-92	6- 8	2- 4	– *
Kaca prisma	3- 6	90-70	5-20	5-10	-... +++
Kaca ornamen (cahaya pada sisi halus)	3- 6	90-60	7-20	3-20	+
Kaca mat est (cahaya pada sisi halus)	2- 3	78-63	12-20	10-17	+
Kaca opal	2- 3	66-36	31-54	3-10	+++
Albaster murni	11-13	30-17	54-62	16-21	+++
Kaca termoluks	5- 8	47-21	37-48	16-25	++
Putih kertas pergamen	1- 2	55-35	35-50	10-15	++
Serat-serat putih (sutera, katun)	tipis	70-30	30-60	2- 8	++

5) Bahan-bahan tidak tembus cahaya

Bahan:	refleksi %	kemampuan penyebaran cahaya	pemantulan
aluminium sangat mengkilau	80-85	–	+++
aluminium mat/buram	55-65	+++	–
email putih	65-75	++	+
gips putih segar	85-95	+++	–
kertas putih buram	70-80	++	+
kertas putih mengkilau	70-80	+	++
cermin kaca.	80-88	–	+++
perak dipoles	90-92	–	+++
granit	20-25	+	
batu kapur	35-55	++	
kayu mahoni dipoles	6-12	+	
plesteran kapur putih	40-45	++	
plesteran cat gelap	0-25	–	
bahan hitam	0-0,5	–	
kayu kasar	0-40	+	
batu bata (basah)	8-30	+	
batu bata (kering)		++	
beton kasar	20-30	+++	
genting merah baru	10-15	+++	
genting kotor	5-10	+++	

Catatan : Nilai-nilai tersebut diukur bila cahaya jatuh tegak lurus
– sangat lemah
+ lemah
++ sedang
+++ kuat

9.12 **Kesimpulan singkat**

a. Penerangan (E, lux) yang kita usahakan pada bidang kerja (normal dihitung 75 cm di atas lantai) harus cukup dan memadai kebutuhan. Skala kebutuhan itu tergantung menurut macam dan watak kerja maupun kedudukan serta sifat/klasifikasi gedung atau pun ruangan.

b. Sebaiknya penerangan juga tidak boleh menyilaukan karena kecerlangan (B) yang terlalu padat. Maksimum tidak boleh terlalu di atas kecerlangan bulan purnama atau Bmax = 0,3 sb. Untuk mencapai itu sering dibutuhkan pemantulan pada sumber-sumber cahaya sekunder, dengan bidang cahaya yang relatip melebarkan bidang cahaya. Demi fungsi itu dibutuhkan kap-kap lampu dan armatur lainnya yang melembutkan/meratakan kepadatan atau illuminasi cahaya. Itu sebaiknya tanpa merugikan aliran cahaya terlalu banyak.

c. Penerangan diusahakan merata, meskipun itu tidak berarti homogin sungguh-sungguh. Gunung-lembah terang-suram sering bahkan diperlukan untuk menolong kepekaan plastisitas penglihatan mata kita dan lebih berkesan alami normal. Tetapi kontras antara gelap dan terang harus dihindarkan dan jangan melebihi.

$$\frac{E_{suram}}{E_{terang}} \leqslant 20\%$$

d. Penerangan harus memperhatikan ekonomi cahaya, dalam cara pemasangan lampu, pada ketinggian berapa dan dengan jumlah serta susunan yang bagaimana.

e. Maka perlulah diketahui sifat diagram kekuatan cahaya rata-rata dari sumber-sumber cahaya yang dipilih, cahaya spesifiknya dan derajad *illuminasinya.*

f. juga *rendemen terhadap listrik* yang harus dialirkan perlu dihitung dengan memperhatikan faktor rendemen.

g. Harga rendemen penerangan tersebut tergantung dari sistim penerangan: dengan penggunaan sinar langsung, tidak langsung, difus atau kombinasi dari itu semua. Tergantung juga dari armatur yang dipakai, pengaruh refleksi dinding-dinding, lantai dan langit ruangan dan koefisien refleksi dari bahan-bahan yang dipakai oleh ruangan.

h. Tetapi selain rasionalitas rendeman dan ekonomi cahaya, kita tidak lupa juga segi-segi fisik lain seperti kebutuhan akan plastisitas penglihatan mata yang membutuhkan sekedar bayangan minimal (tidak boleh melebihi 20% tadi) dan dari pihak lain kenikmatan pandangan yang tidak menghendaki kontras terlalu banyak antara gelap dan terang. Percampuran cahaya langsung, tidak langsung dan difus perlu untuk itu, tetapi warna cahayapun merupakan unsur yang sangat penting, bahkan sering vital.

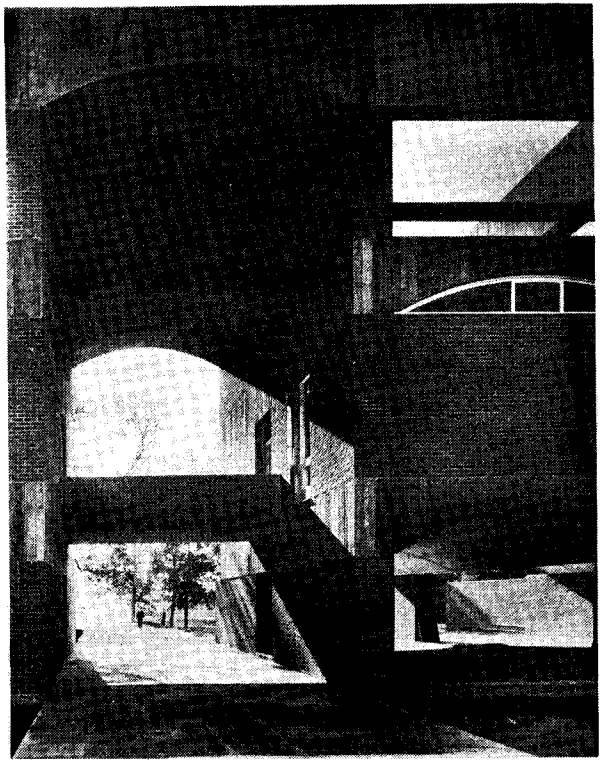
i. Penerangan harus menjawab kebutuhan psikologis yang memadai dan harus mampu menciptakan suasana yang khusus. Ruangan-ruangan yang membutuhkan suasana representasi khidmad bakti, serius, gairah, gembira, santai, akrab, mesra, menarik langganan, menambah produksi dan efisiensi bisnis punya kwalitas masing-masing.

j. Maka betapa pun berguna tabel-tabel dan pedoman-pedoman resmi yang diberikan oleh laboratorium pabrik lampu, peraturan bangunan dan penerangan dan sebagainya, tetap daya kreasi dan kebijaksanaan kitalah yang harus memilih cara sebaik-baiknya. Namun perhitungan teoritis sangatlah perlu dan segala pemberian keterangan dari tabel dan rumus tetap harus kita pelajari. Akan tetapi kepekaan dan kewajaran nantilah yang harus kita latih terus menerus dalam unsur cahaya, agar merupakan salah satu unsur arsitektur yang sangat menolong kita.

9.13 Terang Siang dan Faktor Cahaya Siang Hari

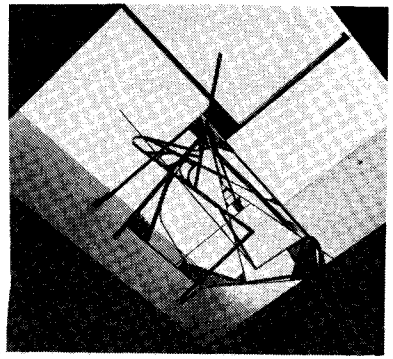
Umum

Terang cahaya siang hari pada suatu tempat yang bebas dan terbuka (di ladang, lapangan sepakbola, lautan dan sebagainya) tentulah punya nilai besar bagi mereka yang berkepentingan di situ. Akan tetapi untuk keperluan kita di sini yang penting ialah terang yang masuk ke dalam ruangan. Pada jaman modern ini semakin banyak gedung-gedung besar yang berfungsi sebagai kantor pusat, supermarket, markas komando, ruang-ruang kuliah besar dan sebagainya sudah tidak mempergunakan lagi cahaya matahari sebagai sumber penerangan, karena dianggap kurang dipercaya pasang-surut cerah terangnya. Maka dipakailah cahaya listrik yang dapat dikontrol sendiri siang maupun malam. Untuk gedung-gedung seperti itu, penerangan listrik siang malam sering bisa dipertanggung-jawabkan. Akan tetapi di dalam negara seperti tanah air kita, yang belum berlimpah sumber energi listrik, tetaplah sumber cahaya alami dari matahari merupakan sumber penerangan yang mutlak berkedudukan sangat penting dan harus kita manfaatkan. *(gambar 120 s/d 125)*

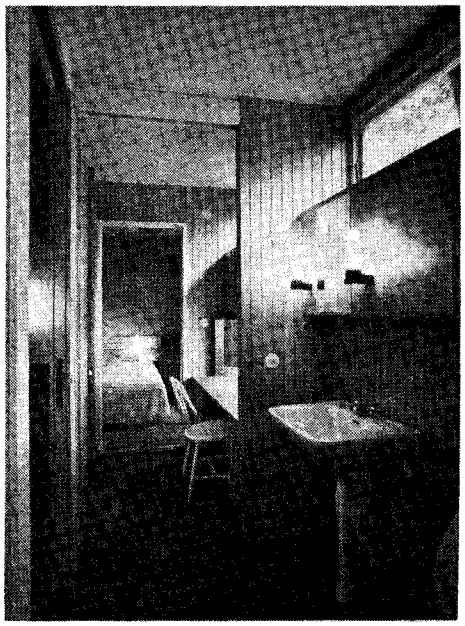


Gambar No. 120

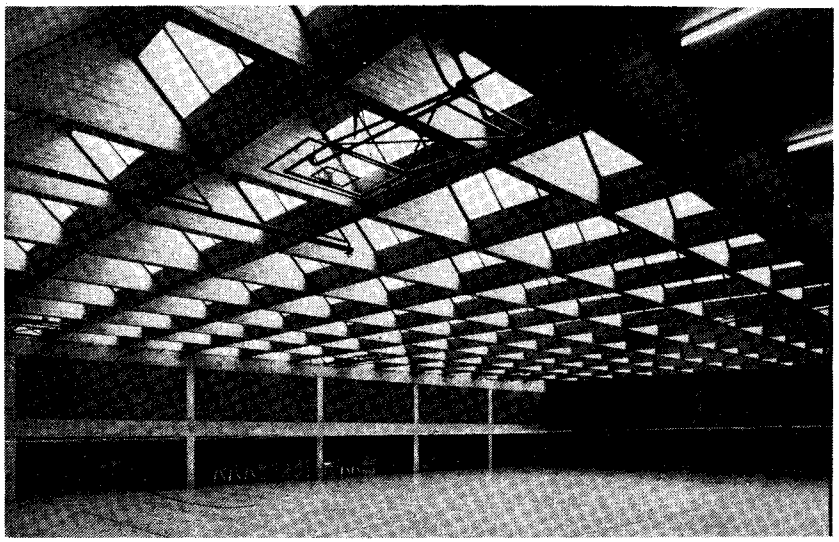
Gambar No. 121



Gambar No. 122



Gambar No. 123, 124. Contoh-contoh penerangan matahari dapur dan ruang sel-basah yang efisien dan indah.



Gambar No. 125 Pemanfaatan cahaya matahari selaku penerangan bangsal-bangsal olah raga.

Oleh karena itu terasa ada kebutuhan untuk menghitung secara rasional, berapa cahaya matahari sebaiknya dimasukkan ke dalam ruangan, agar jangan di bawah minimum maupun di atas maksimum kebutuhan wajar. Perhitungan berpangkal pada pengertian yang disebut *Faktor Cahaya Siang Hari*. Dapat juga berpangkal pada pengertian yang disebut *Faktor Terang Langit*.

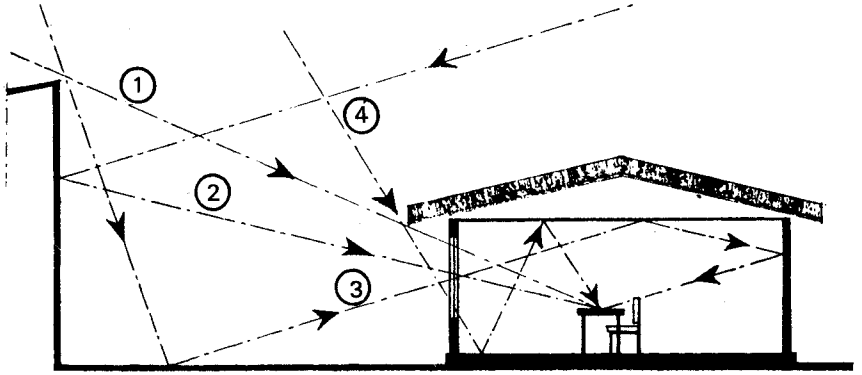
Faktor Cahaya Siang Hari

a. Faktor Cahaya Siang Hari menunjuk pada prosentase dari jumlah terang siang hari yang jatuh pada suatu titik pada bidang *di dalam* suatu ruangan. Faktor itu menyebutkan *perbandingan antara kekuatan terang pada titik tersebut (di dalam ruangan) dengan kekuatan terang yang pada saat itu menerangi lapangan terbuka.* Tetapi karena cahaya di lapangan terbuka selalu berubah-ubah (dari atas 100.000 lux sampai nol) maka demi penyederhanaan soal, orang bersepakat untuk menetapkan saja harga kekuatan terang di lapangan terbuka sebesar 3000 lux. (Ada komisi Internasional lain yang menyarankan jumlah 5000 lux)

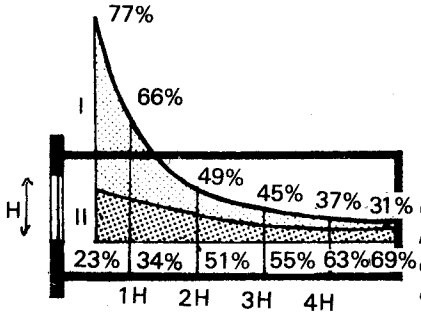
b. Orang lalu menetapkan lagi, bahwa terang cahaya di dalam ruangan-ruangan tertentu tidak boleh di bawah sekian dan sekian % dari 3000 (5000) lux tersebut. Jika ternyata kekuatan terang di lapangan luar menjadi kurang dari 3000 (5000) lux, maka itu sudah saatnya, ruangan memakai sumber cahaya lampu. Contoh: Untuk ruangan yang sangat kerap

dan lama dipergunakan untuk menulis dan membaca (kantor, perpustakaan dan sebagainya) diharuskan penerangan minimum 150 lux. Itu berarti 150/3000. 100% = 5% (terhadap patokan 3000 lux) atau 3% (terhadap patokan 5000 lux) di luar pada lapangan terbuka. Maka disebutlah, bahwa untuk ruangan itu tadi, Faktor Cahaya Siang Hari harus 5% (3%). (Di dalam tabel Pasal 9.15 dapat tampak langsung harga persyaratan kekuatan penerangan untuk pelbagai macam karya dalam suatu ruangan).

c. Tetapi ternyata, bahwa metode tersebut di atas membutuhkan suatu perhitungan yang cukup berbelit-belit dalam praktek perencanaan. Terutama untuk kaum awam perhitungan itu menjadi sangat tidak praktis. Sebabnya antara lain ialah, karena: *Cahaya Siang Hari terdiri dari banyak macam unsur: (gambar 126).*



Gambar No. 126
1) cahaya langsung dari matahari pada bidang-kerja
2) cahaya pantulan dari benda-benda sekitar.
3) cahaya pantulan dari halaman, yang untuk kedua kalinya dipantulkan oleh langit-langit dan/atau dinding ke arah bidang kerja.
4) cahaya yang jatuh di lantai dan dipantulkan lagi oleh langit-langit.



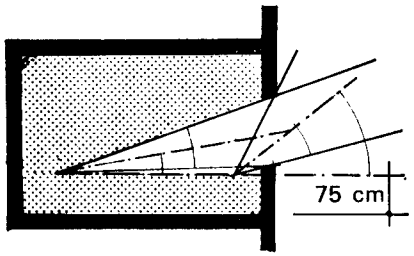
Gambar No. 127
Partisipasi penerangan langsung (I) dan tidak langsung (II) dalam ruangan dengan jendela pada satu sisi.

1) unsur penerangan yang datang *langsung dari langit,* termasuk pantulan-pantulan awan-awan.

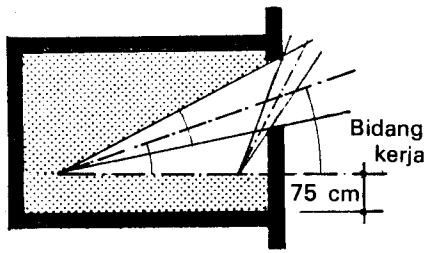
2) unsur *refleksi luar,* yaitu hasil pemantulan cahaya dari benda-benda yang berdiri di luar rumah kita, dan masuk melalui jendela ke dalam ruangan.

3) unsur *refleksi dalam,* yaitu cahaya yang dipantulkan oleh benda-benda yang terletak rendah (tanah halaman, rumput, ubin-ubin jalan ke pintu dan sebagainya). Cahaya pantulan itu masuk melalui jendela dan lubang-lubang lain serta menerangi langit-langit atau pun bagian-bagian atas dari ruangan. Cahaya tersebut terpantul lagi dan menerangi bidang-kerja dari ruangan.

4) *unsur bahan jendela* seperti misalnya kaca macam apa, bersih atau kotor dan sebagainya. Sekian banyak unsur harus ikut diperhitungkan. Jelaslah itu membuat perhitungan cukup sulit. Dari sebab itu, orang mencari titik tolak lain yang lebih sederhana namun cukup diandalkan. Salah satu jalan itu ialah metode berikut:



Gambar No. 128



Gambar No. 129

Semakin jauh dari bidang lubang jendela, semakin sedikit juga jumlah cahaya yang datang pada bidang kerja. Juga letak kedudukan lubang jendela ikut menentukan penerangan pada bidang kerja.

9.14 Terang Langit

Metode perhitungan yang dianjurkan dan diolah oleh suatu panitia khusus dari Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Dep. PUTL. (dipimpin oleh *Prof. Ir. Markus U. Adhiwiyoga (1970)* berdasarkan besaran yang disebut FAKTOR LANGIT sebagai *penunjuk kualitas penerangan minimal dalam ruangan.* Tabel-tabel yang sudah disediakan sangat mempermudah pekerjaan perencanaan dalam praktek. (Nomor-nomor kode tentang Bab dan persoalan di sini kami ambil dari buku olahan team panitia Dep PUTL di atas agar mudah mencarinya dalam naskah aslinya).

Bab. 1. *Pengertian.*

I. 101. *Terang Langit* adalah sumber cahaya yang diambil sebagai dasar untuk penentuan syarat-syarat mengenai penerangan alami siang hari.

102. *Langit Perencanaan* adalah langit dalam keadaan yang ditetapkan dan dijadikan dasar untuk perhitungan.

103. *Faktor Langit* (fl) adalah angka karakteristik yang digunakan sebagai ukuran untuk keadaan penerangan alami siang hari di berbagai tempat dalam suatu ruangan.

104. *Titik Ukur* adalah titik di dalam ruangan, yang keadaan penerangannya dipilih sebagai indikator untuk keadaan penerangan seluruh ruangan.

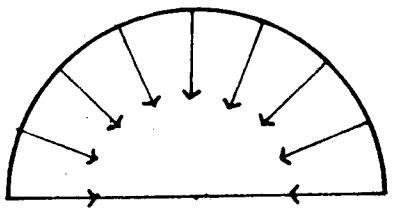
105. *Bidang Lubang Cahaya Efektip* adalah bidang vertikal sebelah dalam dari lubang cahaya.

106. *Lubang Cahaya Efektip* untuk suatu Titik Ukur adalah bagian dari bidang lubang cahaya efektip, lewat mana titik ukur itu melihat langit.

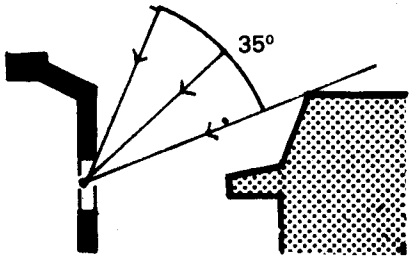
Keterangan:

Titik-tolak dari perhitungan di sini ialah refleksi benda-benda luar dan dalam, begitu juga refleksi pada permukaan kaca dan penyerapannya dianggap saling menghapuskan. Pada umumnya pastilah masih ada penerangan tambahan yang tersisa. Itu dapat dianggap sebagai suatu persediaan yang diam-diam (silent reserve).

Secara praktis, penyebaran cahaya dari langit dianggap merata sempurna (homogen). Maka ditetapkanlah ketentuan yang disebut LANGIT PERENCANAAN. Langit Perencanaan didefinisi sebagai: *sumber penerangan berasal dari langit, yang dianggap memiliki penyebaran (distribution) terang yang merata dan berukuran sama (uniform brightness distribution). (gambar 130).*



Gambar No. 130



Gambar No. 131

Kekuatan penerangan yang diberikan oleh Langit Perencanaan tersebut pada titik-titik di bidang datar suatu lapangan terbuka ditetapkan sebesar 10.000 lux. Demikianlah maka setiap terang di dalam ruangan menerima patokan dasar dari Langit Perencanaan sebesar 10.000 lux tersebut dan yang diperhitungkan dengan angka yang disebut *FAKTOR LANGIT (fl),* dinyatakan dengan % *prosentase,* dihitung terhadap 10.000 lux tersebut.

203. (1) *Faktor Langit (fl)* dari suatu titik pada suatu bidang di dalam suatu ruangan adalah angka perbandingan antara kekuatan penerangan langsung dari langit pada titik di bidang tersebut dan kekuatan penerangan oleh Terang Langit pada bidang datar di lapangan terbuka.
Dengan keterangan:

(2) Pengukuran dari kedua-dua kekuatan penerangan yang disebut dalam ayat (1) pasal itu dilakukan dalam keadaan sebagai berikut:
a. pengukuran pada saat yang sama,
b. keadaan Langit adalah keadaan Langit Perencanaan dengan distribusi terang yang merata di mana-mana, dan
c. semua jendela atau lubang cahaya diperhitungkan seolah-olah tidak ditutup dengan kaca.

Catatan:

Terhadap penggunaan metode-metode lain untuk perencanaan tidak ada keberatan: dengan pengertian bahwa apabila timbul keragu-raguan, maka hasil dengan metode analitis yang dipakai dalam norma tersebut di ataslah yang berlaku.

Maksud dari norma itu ialah, agar selain bisa dipakai untuk bangunan-bangunan, masih berguna juga demi mendapatkan dasar fisis bagi penyusunan atau penyusunan kembali Peraturan-peraturan Bangunan di Indonesia. Keadaan dalam kota-kota yang sudah ada, terutama dalam pusat perdagangan dan perkantoran acapkali terdiri dari bangunan-bangunan yang agak tinggi, disertai perletakannya yang satu sama lain sangat tidak menguntungkan untuk penerangan ruangan. Agar dapat menampung hal-hal yang demikian, maka dalam perhitungan dapat diambil sudut penghalang sama dengan 35° *(gambar 131)* apabila sudut penghalang cahaya adalah lebih besar dari 35°. Tentunya ada juga bangunan-bangunan yang dari sifat penggunaannya tidak begitu mementingkan penerangan alami siang hari. Untuk bangunan-bangunan tersebut dapat berlaku persyaratan-persyaratan lain yang menyimpang dari norma-norma yang diberikan di sini. Maka ditentukan hal-hal berikut ini perihal cara pengukuran dan perhitungan.

204. (1) Titik ukur diambil pada suatu bidang datar yang letaknya pada tinggi 0,75 meter di atas lantai. Bidang datar tersebut disebut *bidang kerja. (gambar 128, 129, 132).*

(2) Untuk sedikit banyak menjamin tercapainya suatu keadaan penerangan yang cukup memuaskan, maka *faktor langit (fl)* dari titik ukur tersebut harus memenuhi suatu nilai minimum tertentu yang ditetapkan menurut fungsi dan ukuran ruangannya.

(3) Dalam perhitungan digunakan dua jenis titik ukur:
a. *Titik ukur utama (TUU)* diambil pada tengah-tengah antara kedua dinding samping, yang berada pada jarak 1/3 dari bidang lubang cahaya effektip;
b. *Titik ukur samping (TUS),* diambil pada jarak 0,50 meter dari dinding samping, yang juga berada pada jarak 1/3 dari bidang lubang cahaya effektip.
Dengan dimaksud ukuran ke dalam, diukur dari nilai bidang lubang cahaya effektip hingga pada dinding seberangnya dalam ruangan yang hendak dihitung penerangannya itu, atau hingga pada "bidang" batas dalam ruangan yang hendak dihitung penerangannya itu *(lihat gambar 121).*

(4) Apabila kedua dinding yang berhadapan tidak sejajar, maka untuk d diambil jarak di tengah antara kedua dinding samping tadi, atau diambil jarak rata-ratanya.

(5) Untuk ruang dengan ukuran d sama dengan atau kurang daripada 6 meter, maka ketentuan jarak 1/3 d diganti dengan *jarak minimum 2 meter.*

205. Bila suatu ruangan mendapatkan penerangan dari langit *melalui lubang-lubang cahaya di beberapa dinding,* maka masing-masing dinding ini mempunyai bidang lubang cahaya effektipnya sendiri-sendiri.

206. Umumnya lubang cahaya effektip dapat berbentuk dan berukuran lain daripada lubang cahaya itu sendiri.
Hal ini, antara lain, dapat disebabkan oleh:
a. penghalangan cahaya oleh bangunan lain atau oleh pohon;
b. Bagian-bagian dari bangunan sendiri yang menonjol dan menyempitkan pandangan keluar, seperti balkon, konstruksi "sunbreakers" dan sebagainya;
c. pembatasan-pembatasan oleh letaknya bidang kerja terhadap bidang lubang cahaya;
d. bagian dari jendela yang dibuat dari bahan yang tidak dapat tembus cahaya.

9.15 **Kwalifikasi derajad bangunan dan persyaratan penerangan**

Selain hal-hal di atas, kita harus ikut memperhitungkan

a. *Kwalitas penerangan* yang harus dan layak disediakan di dalam suatu ruangan ditentukan oleh: *penggunaan* ruangan, khususnya ditinjau dari segi beratnya pembebanan pada mata oleh aktivitas yang harus dilakukan dalam ruangan itu; lamanya *waktu aktivitas* dengan daya mata yang tinggi dan sifat aktivitasnya. Sifat aktivitas dapat secara terus menerus meminta perhatian dan penglihatan yang tepat, atau dapat pula meminta dayamata yang amat tinggi secara periode-periode pendek tetapi sering diselingi dengan periode-periode di mana mata dapat mengaso, dan sebagainya. Penggolongan kwalitas penerangan dibuat sebagai berikut: Kwalitas yang dituntut dari penerangan bangunan tentulah harus disesuaikan dengan derajad bangunan. Dari segi penerangan, bangunan-bangunan dibagi oleh Panitia "Penerangan Alami Siang hari dari Bangunan "Dep. PUTL". Menurut tingkat derajad sebagai berikut:

b. *Bangunan utilitas* dibagi menurut kelas:

Kelas I : Bangunan Representatip, misalnya gedung MPR/DPR, kantor Gubernuran dan sebagainya.

Kelas II : Bangunan baik, misalnya hotel, gedung pertemuan, kantor, gedung olahraga dan sebagainya.

Kelas III : Bangunan biasa.

c. *Menurut kwalitas penggunaan ruangan*

Kerja halus sekali, pekerjaan cermat terus menerus, seperti menggambar detail kecil dan sebagainya.

Kerja sedang, pekerjaan tanpa konsentrasi yang besar dari si pelaku, seperti pekerjaan kayu, montase onderdil yang agak besar dan sebagainya. Kerja kasar, pekerjaan di mana detail-detail yang besar harus dikenal, seperti pada gudang, lorong lalu-lintas orang dan sebagainya.

Sebagai bahan pembanding kita dapat mempelajari ukuran internasional ini:

Kwalitas	: Tuntutan minimum kekuatan penerangan E (lux)
Kerja halus sekali	: 300.
Kerja halus	: 150.
Kerja sedang	: 80.
Kerja kasar	: 40.

Untuk Indonesia dianjurkan oleh Dep. PUTL syarat-syarat teknis perhitungan seperti yang tertera dalam Pasal berikut.

9.16 **Syarat-syarat teknis dan perhitungan** (Keterangan lihat di Pasal 8, 19 halaman ....) Bg. II. (nomor-nomor bab dan pasal mengikuti Team Prof.Ir. Markus Adhiwiyoga ibid.)

Bab.3. *Syarat-syarat*

II. 301.

(1) Faktor Langit (fl) dari titik ukur harus sekurang-kurangnya memenuhi nilai-nilai minimum (fl min) yang tertera dalam tabel 1A, 1B, dan 1C, satu dan lainnya dipilih menurut klasifikasi derajad bangunan kwalitas penerangan yang dikehendaki dan direncanakan untuk bangunan tersebut.

(2) Nilai dari fl min dalam prosentase untuk ruangan-ruangan dalam BANGUNAN UTILITAS — untuk TUU:

TABEL 1A

Klasifikasi bangunan Kwalitas penerangan	I	II	III
A	0,50 d	0,45 d	0,35 d
B	0,40 d	0,35 d	0,30 d
C	0,30 d	0,25 d	0,20 d
D	0,20 d	0,15 d	0,10 d

Faktor langit minimum untuk TUS nilainya diambil 40% dari fl min untuk TUU dan tidak boleh kurang dari 0,10 d.

(3) Nilai dari fl min dalam prosentase untuk ruangan-ruangan dalam BANGUNAN SEKOLAH.

TABEL 1B

Jenis ruangan	fl min TUU	fl min TUS
ruangan kelas biasa	0,35 d	0,20 d
ruangan kelas khusus	0,45 d	0,20 d
laboratorium	0,35 d	0,20 d
bengkel kayu/besi	0,25 d	0,20 d
ruangan olahraga	0,25 d	0,20 d
kantor	0,35 d	0,15 d
dapur	0,20 d	0,20 d

Untuk ruangan-ruangan kelas biasa, kelas khusus dan laboratorium di mana dipergunakan papan tulis sebagai alat penjelasan maka fl min pada tempat 1/3 di papan tulis pada tinggi 1,20 m, ditetapkan sama dengan Fl min = 50% TUU.

TABEL 1C

Jenis ruangan	fl min TUU	fl min TUS
ruang tinggal	0,35 d	0,16 d
kamar kerja	0,35 d	0,16 d
kamar tidur	0,18 d	0,05 d
dapur	0,20 d	0,20 d

(4) Nilai dari fl min dalam prosentase untuk ruangan-ruangan dalam BANGUNAN TEMPAT TINGGAL.
Untuk ruangan-ruangan lain yang tidak khusus disebut dalam tabel ini dapat berlaku, ketentuan-ketentuan dalam tabel 1A untuk bangunan kelas II.

302. (1) Bila suatu ruangan menerima penerangan langsung dari langit melalui lubang-lubang atau jendela-jendela *di dua dinding yang berhadapan* (sejajar),maka setiap lubang cahaya efektip mempunyai kelompok titik-titik ukurnya sendiri.
(2) Dalam hal ini kelompok-kelompok titik-titik ukur yang pertama, yaitu dari bidang lubang cahaya efektip yang paling penting; berlaku ketentuan-ketentuan dari Tabel 1A, 1B, dan 1C.
(3) Untuk kelompok titik ukur yang kedua ditetapkan syarat minimum sebesar 30% daripada ketentuan-ketentuan dari Tabel 1A, 1B, dan 1C.
(4) Dalam hal ini (fl) untuk setiap titik ukur adalah jumlah faktor langit yang diperolehnya dari lubang-lubang cahaya kedua dinding.
(5) Ketentuan untuk kelompok titik-titik ukur yang kedua ini seperti yang termaksud dalam ayat (3), tidak berlaku apabila jarak antara kedua bidang lubang cahaya efektip kurang dari 6 meter.
(6) Bila jarak tersebut dalam ayat (5) adalah lebih dari 4 meter dan kurang dari 9 meter, maka persyaratan untuk tambahan kelompok titik-titik ukur yang kedua dapat dianggap telah dipenuhi apabila lubang cahaya efektip kedua ini luasnya total sekurang-kurangnya 40yt dari luas lubang cahaya efektip pertama. Dalam hal ini yang belakangan luas lubang cahaya efektip kedua adalah bagian dari bidang lubang cahaya yang letaknya di antara tinggi 1 meter dan tinggi 3 meter.

304. (1) Bila suatu ruangan menerima penerangan langsung dari langit melalui lubang-lubang atau jendela-jendela *di dua dinding yang saling memotong* kurang lebih tegak lurus, maka untuk dinding kedua, yang tidak begitu penting, hanya diperhitungkan satu Titik Ukur Utama tambahan saja.

(2) Syarat untuk titik ukur yang dimaksud dalam ayat (1) pasal ini adalah 50% daripada apa yang berlaku untuk titik ukur utama dari bidang lubang cahaya efektip yang pertama.
(3) Jarak titik ukur tambahan ini sampai pada bidang lubang cahaya efektip kedua diambil 1/3 d, di mana d adalah ukuran dalam menurut bidang lubang cahaya efektip pertama (lihat gambar no. 2c).

305. Apabila suatu ruangan digunakan sekaligus untuk dua jenis keperluan, maka untuk ruangan tersebut berlaku syarat-syarat yang terberat antara kedua jenis keperluan tadi.

306. Setiap vestibul atau gang dalam bangunan rumah tinggal harus dapat menerima cahaya melalui luas kaca sekurang-kurangnya 0,10 m^2 dengan ketentuan bahwa untuk:
a. luas dinding kaca luar atau atap diperhitungkan 100%,
b. luas kaca dinding dalam yang dapat merupakan batas dengan kamar-tidur, kamar-tinggal, kamar kerja ..... diperhitungkan 30%,
c. luas kaca ruangan lainnya, seperti gudang, kamar mandi dan sebagainya ..... diperhitungkan 0%.

307. Setiap gang atau lorong dalam bangunan umum harus sekurang-kurangnya dapat menerima cahaya siang hari melalui luas kaca minimal untuk bangunan:
Kelas I – 0,40 m^2,
Kelas II – 0,30 m^2,
Kelas III – 0,20 m^2,
untuk setiap 5 meter panjang gang atau lorong, dengan ketentuan, bahwa untuk:
a. luas kaca dinding luar atau atap ..... diperhitungkan 100%;
b. luas kaca dinding dalam yang merupakan batas dengan ruangan dengan kwalitas penerangan A dan B ..... diperhitungkan 20%,
c. luas kaca untuk perbatasan dengan ruangan dengan penerangan kwalitas C ..... diperhitungkan 10%;
d. luas kaca ruangan lainnya ..... diperhitungkan 0%.

308. Ruang tangga umum harus dapat menerima cahaya siang hari melalui luas kaca sekurang-kurangnya untuk bangunan:
Kelas I – 1,00 m^2
Kelas II – 0,75 m^2
Kelas III – 0,50 m^2

Untuk setiap setengah tinggi lantai tingkat dengan ketentuan, bahwa untuk:
a. lubang cahaya dinding luar ..... diperhitungkan 100%;

b. kaca di atap untuk masing-masing dari kedua setengah tinggi lantai tingkat, untuk tingkat yang paling atas 100%;
tingkat pertama di bawahnya 50%;
tingkat kedua di bawahnya 25%;
tingkat ketiga di bawahnya 12,5%;
tingkat di bawah selanjutnya 0%;

309. *Sudut penghalang cahaya* hendaknya tidak melebihi 55°, ditinjau dari sudut tata letak bangunan-bangunan dalam bidang Tata Kota.

310. Untuk lubang cahaya efektip dari suatu ruangan yang menerima cahaya siang hari tidak langsung dari langit akan tetapi melalui kaca atau lubang cahaya dari ruangan lain, misalnya liwat teras yang beratap, maka fl dari titik ukur dalam ruangan ini dihitung melalui ketentuan-ketentuan dalam bab 3 ini hanya boleh diambil maksimal 10% dari faktor langit di dalam keadaan di mana titik ukur langsung menghadapi langit.

9.17 **Keterangan mengenai Bagian II, Bab 3** (pasal yang lalu)

a. Gambaran yang agak lengkap dari keadaan penerangan langsung dari langit pada titik-titik ukur di bidang kerja dari suatu ruangan, umumnya memerlukan data mengenai keadaan penerangan di berbagai titik-titik ukur.

Titik-titik ukur secara sistimatis dipilih pada suatu jaringan, yang meliputi seluruh luas ruangan. Lebar setiap lubang jaringan diambil satu meter atau lebih, satu dan lainnya disesuaikan dengan ukuran ruangan. Pengumpulan data ini jelas akan memerlukan banyak perhitungan dan waktu, sehingga kurang praktis untuk dijadikan dasar untuk penilaian. Oleh karena itu perumusan yang dipilih dan digunakan dalam norma ini sengaja diatur sesederhana mungkin. Dengan menetapkan syarat-syarat tertentu untuk tiga titik-titik ukur tertentu untuk penerangan langsung dari langit melalui lubang-lubang cahaya di suatu tampak bangunan:

1) di satu pihak diusahakan agar pengecekan keadaan penerangan yang secara minimal harus dipenuhi, dapat dilakukan dengan mudah dari gambar perencanaan;

2) di lain pihak diharapkan dari pemilihan titik-titik ukur dan syarat-syarat sedikit banyak dapat terjamin suatu keadaan penerangan alami yang layak di ruangan yang bersangkutan.

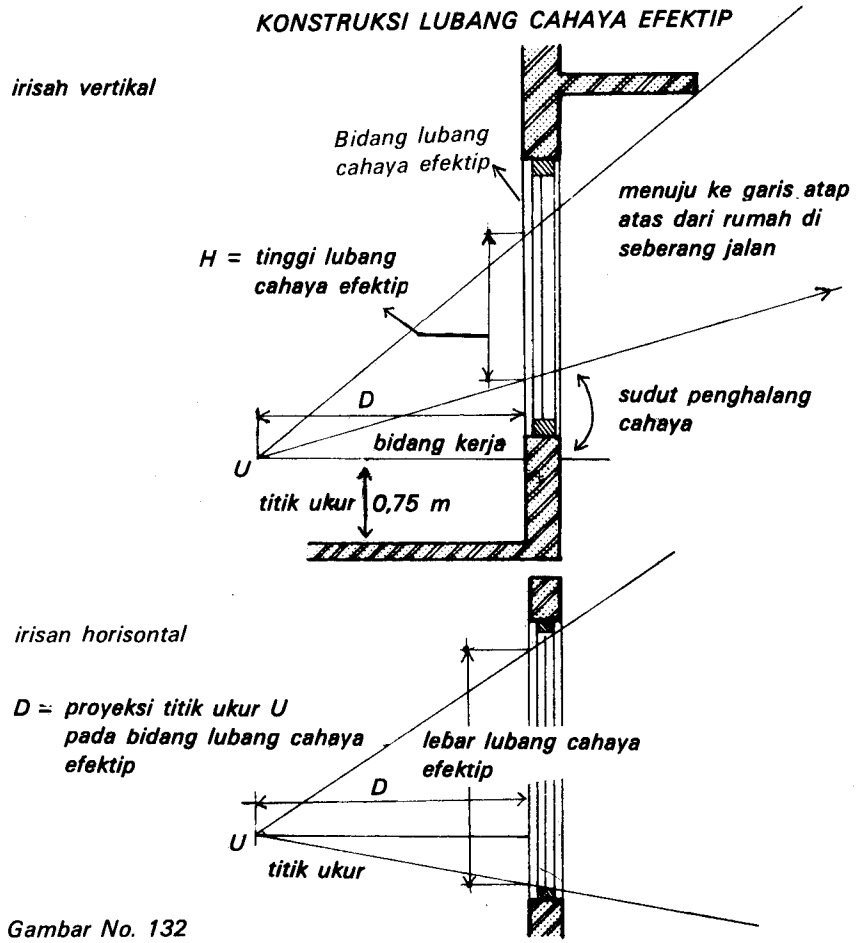
b. Sebagai titik-titik ukur diambil titik-titik di bidang kerja.

Pada = jarak *sepertiga ukuran dalam ruangan dan*
= sekurang-kurangnya 2 m dari bidang lubang cahaya efektip.

Titik Ukur Utama diambil di tengah-tengah antara kedua dinding sisi. Titik-titik Ukur samping pada jarak 0,5 m diukur dari dinding samping.

Dengan jalan demikian dapat diharapkan hapusnya pojok-pojok yang terlampau gelap dan juga tidak terlampau dekat pada jendela. Begitu dapat diberikan cukup jaminan tentang cukupnya cahaya untuk bagian dalam dari ruangan.

Variasi dari kekuatan penerangan oleh langit saja untuk beberapa titik-titik ukur di bidang kerja dengan jarak di bidang lubang cahaya efektip ke



Gambar No. 132

titik-titik masing-masing D, 2 x D, dan untuk beberapa ukuran dapat dilihat di Tabel yang berikut: *(gambar no. 132)*

Tabel perbandingan (ratio) kekuatan penerangan oleh langit saja di titik-titik 1, 2, dan 3 mengambil kekuatan penerangan di titik 1 sebagai kesatuan:

Titik	L/D	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
untuk H/D =	1						
nomor 1.		1	1	1	1	1	1
nomor 2.		0,21	0,25	0,28	0,31	0,34	0,35
nomor 3.		0,07	0,09	0,11	0,12	0,14	0,16
untuk H/D =	0,5						
nomor 1.		1	1	1	1	1	1
nomor 2.		0,17	0,20	0,23	0,25	0,27	0,28
nomor 3.		0,06	0,07	0,09	0,10	0,11	0,13

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa di bagian yang paling dalam dari ruangan dengan ukuran dalam 4 m, keadaan penerangan adalah 20 sampai 30% dari keadaan 2 m ke dalam. Untuk ruangan yang ukuran dalamnya lebih dari itu, maka prosentase menjadi ± 1L% saja. (Titik-titik ukur pada 1/3 d). *(lihat gambar 132).* Oleh karena itu maka *nilai faktor langit* yang dijadikan syarat untuk titik-titik ukur diambil *berbanding lurus dengan ukuran dalam dari ruangan,* yaitu d untuk penempatan titik ukur pada 1/2 d saja, sudah akan membawa persyaratan yang sangat berat, karena semakin dalam tempatnya, semakin besar juga jumlah penutupan lapangan penglihatan dari titik itu.

c. Dalam praktek nanti keadaan penerangan total dan distribusi cahaya umumnya tentu akan lebih baik daripada apa yang dibayangkan oleh angka-angka pada tabel tadi, karena *pengaruh komponen-komponen refleksi tidak diperhitungkan sama sekali*

Ketentuan termasuk dalam Pasal 302 dimaksudkan agar jangan sampai terjadi distribusi cahaya di arah lebar (sejajar dengan tampak bangunan) yang kurang memuaskan. Walaupun tidak diharuskan, namun apabila dikehendaki distribusi cahaya yang agak lebih merata dapat diusahakan dengan penerangan oleh lubang-lubang cahaya yang letaknya tidak hanya pada satu tampak bangunan saja.

Untuk ini perlu diadakan ketentuan-ketentuan tambahan (Pasal 303 dan 304). Umumnya syarat-syarat untuk situasi penerangan begini akan lebih mudah untuk dipenuhi daripada syarat-syarat yang berlaku untuk penerangan dari lubang-lubang di satu tampak bangunan saja. Untuk lain-lain situasi diberikan ketentuan praktis yaitu Pasal 306, 308 dan 309.

Untuk Koridor dan gang-gang dibangun utilitas dipakai Pasal 307 dengan cara pemberian syarat yang serupa. Hanya di sini perlu diingat bahwa koridor dalam bangunan-bangunan utilitas mungkin panjang sekali. Maka syarat-syaratnya dinyatakan untuk setiap panjang 5 m dari gang.

Bab. 4.

Syarat Perhitungan atau Penetapan Faktor Langit

401. Penetapan untuk syarat nilai Faktor Langit, didasarkan atas keadaan langit yang terangnya merata, yang tertera dalam peraturan ini didasarkan atas *Langit Perencanaan Untuk Indonesia* yang memberikan kekuatan penerangan pada titik di bidang datar di lapangan terbuka sebesar 10.000 Lux.

402. *Perhitungan besarnya Faktor Langit* untuk titik ukur pada bidang kerja di dalam ruangan dilakukan dengan menggunakan metode analitis di mana nilai fl dinyatakan sebagai fungsi dari H/D seperti tercantum dalam Tabel II, dengan catatan:

H adalah tinggi lubang cahaya effektip,

L adalah lebar lubang cahaya effektip, dan

D adalah jarak titik ukur ke bidang lubang cahaya effektip.

TABEL II

FAKTOR LANGIT SEBAGAI FUNGSI DARI H/D DAN L/D

L/D H/D	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,1	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10
0,2	0,06	0,12	0,17	0,22	0,27	0,30	0,33	0,36	0,38	0,40
0,3	0,13	0,26	0,37	0,48	0,57	0,65	0,72	0,77	0,82	0,86
0,4	0,22	0,43	0,62	0,80	0,96	1,09	1,20	1,30	1,38	1,44
0,5	0,32	0,62	0,91	1,17	1,39	1,59	1,76	1,90	2,02	2,11
0,6	0,42	0,82	1,20	1,55	1,85	2,12	2,34	2,53	2,69	2,83
0,7	0,52	1,02	1,50	1,93	2,31	2,64	2,93	3,18	3,38	3,55
0,8	0,62	1,22	1,78	2,29	2,75	3,16	3,50	3,80	4,05	4,26
0,9	0,71	1,40	2,04	2,64	3,17	3,63	4,04	4,39	4,69	4,94
1,0	0,79	1,56	2,29	2,95	3,56	4,09	4,55	4,95	5,29	5,57
1,5	1,10	2,17	3,18	4,13	4,99	5,77	6,45	7,05	7,58	8,03
2,0	1,27	2,51	3,69	4,80	5,81	6,74	7,56	8,29	8,94	9,51
2,5	1,37	2,70	3,98	5,18	6,29	7,31	8,22	9,03	9,76	10,40
3,0	1,43	2,82	4,16	5,42	6,59	7,66	8,62	9,49	10,27	10,96
3,5	1,47	2,90	4,28	5,58	6,78	7,89	8,89	9,79	10,60	11,33
4,0	1,49	2,96	4,36	5,68	6,91	8,04	9,07	10,00	10,83	11,58
4,5	1,51	2,99	4,41	5,76	7,01	8,15	9,20	10,15	11,00	11,76
5,0	1,53	3,02	4,46	5,81	7,07	8,24	9,29	10,25	11,12	11,90
6,0	1,54	3,06	4,51	5,88	7,17	8,34	9,42	10,40	11,28	12,07

Posisi titik ukur U, yang jauhnya D daripada lobang cahaya effektip, berbentuk persegi panjang OPQR 9 (tinggi H dan lebar L) sebagaimana dilukiskan di bawah ini:

Ukuran H dihitung dari Q ke atas,

PERPUSTAKAAN
JL. MENUR PUMPUNGAN
SURABAYA
TAHUN ANGGARAN 1996/1997

ukuran L dihitung dari O ke kanan atau ke kiri sama saja.
Angka-angka faktor langit dinyatakan dalam %.

TABEL II (sambungan)

FAKTOR LANGIT SEBAGAI FUNGSI DARI H/D DAN L/D

L/D H/D	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0
0,1	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
0,2	0,45	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,49
0,3	0,97	1,01	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	1,05
0,4	1,63	1,71	1,74	1,76	1,77	1,78	1,78	1,78	1,78
0,5	2,40	2,52	2,57	2,60	2,61	2,62	2,63	2,63	2,63
0,6	3,22	3,39	3,46	3,50	3,52	3,54	3,54	3,55	3,55
0,7	4,07	4,29	4,39	4,44	4,47	4,48	4,49	4,50	4,51
0,8	4,90	5,18	5,31	5,37	5,41	5,43	5,44	5,45	5,46
0,9	5,71	6,04	6,20	6,28	6,33	6,36	6,37	6,39	6,40
1,0	6,47	6,87	7,06	7,16	7,22	7,25	7,27	7,28	7,30
1,5	9,52	10,23	10,59	10,79	10,90	10,97	11,02	11,05	11,08
2,0	11,44	12,43	12,96	13,26	13,44	13,55	13,62	13,67	13,73
2,5	12,64	13,85	14,52	14,92	15,16	15,32	15,42	15,49	15,58
3,0	13,41	14,78	15,58	16,06	16,36	16,56	16,70	16,79	16,91
3,5	13,93	15,42	16,31	16,87	17,22	17,46	17,63	17,74	17,89
4,0	14,30	15,88	16,84	17,45	17,85	18,13	18,32	18,46	18,63
4,5	14,56	16,21	17,23	17,89	18,33	18,63	18,85	19,01	19,21
5,0	14,75	16,45	17,52	18,22	18,69	19,03	19,26	19,44	19,67
6,0	15,01	16,79	17,92	18,68	19,20	19,58	19,85	20,06	20,33

403. (1). Untuk *bagian dari Jendela yang tidak dapat ditembus cahaya* perlu diadakan koreksi.

(2). Perhitungannya secara global dilakukan menurut ratio luas bagian yang tidak dapat ditembus cahaya terhadap luas bagian seluruh lubang cahaya effektip.

404. Cara perhitungan Faktor Langit dalam perencanaan dapat dilakukan dengan *metode lain* secara keilmuan/keahlian selama hasilnya tidak berbeda dengan hasil dari metode analitis yang dimuat dalam norma.

9.19 **Keterangan mengenai Bagian II Bab 4**

a. Untuk keadaan langit perencanaan tertentu (dalam hal ini langit yang di mana-mana terangnya merata) faktor langit untuk suatu titik ukur U pada bidang datar (bidang kerja) selanjutnya masih ditentukan oleh

1) ukuran lubang cahaya effektip dan
2) posisinya terhadap titik U.

Untuk titik U yang jauhnya D daripada bidang lubang cahaya efektip, lubang cahaya effektip berbentuk persegi panjang dengan lebar L dan tinggi H. Sedangkan proyeksi titik U pada bidang lubang efektip berimpit pada titik sudut kiri bawah (atau kanan bawah) dari persegi panjang itu, (lihat pada gambar tabel II). Maka faktor langit itu dapat dihitung menurut rumus yang berikut:

$$U = \frac{1}{2\pi}\left(\text{arc.tan.}L/D - \frac{1}{\sqrt{1+(H/D)^2}}\ \text{arc.tan}\ \frac{L/D}{\sqrt{1+(H/D)^2}}\right)$$

Proyeksi daripada titik U pada bidang lubang cahaya effektip merupakan titik pangkal dari mana ukuran H dihitung ke atas dan ukuran lebar L dihitung ke kanan atau ke kiri, tanpa perbedaan. Kedudukan lain daripada lubang cahaya effektip selalu dapat dianggap terdiri atas kombinasi dari persegi-persegi panjang.

b. Jelasnya di bawah ini diberi beberapa contoh-contoh perhitungan faktor langit. Perlu ditambahkan di sini bahwa bagian dari lubang cahaya yang letaknya di bawah tinggi bidang kerja tidak masuk dalam perhitungan. Begitu pula ukuran lubang cahaya yang diperhitungkan di sini adalah bagian-bagian dari lubang cahaya yang secara effektip dapat meneruskan cahaya dari langit kepada titik U. Jadi ikut ditentukan oleh rupa-rupa penghalang, seperti oleh tebal tembok, bagian-bagian yang menonjol, dan sebagainya.

Perhitungan faktor langit dapat dilakukan dengan mudah dengan pertolongan tabel faktor langit sebagai fungsi dari H/D dan L/D.
Contoh:

1.
Lubang ABCD : lebar 2 m, tinggi 2 m.
Titik Ukur U : 2 meter ke dalam; posisi, *lihat gambar 133a.*
Didapat :

1) Lubang cahaya ABCD,
   D = 2 m, H = 2 m, L = 2 m
2) H/D = 1; L/D = 1
3) Menurut Tabel II, faktor langit untuk U adalah 5,57%

2.
Lubang ABCD : lebar 2 m, tinggi 2 m.
Titik ukur U : 2 meter ke dalam; posisi *lihat gambar 133b.*
Didapat :

1) Lubang cahaya dianggap terdiri atas lubang-lubang.
   AEFD dengan H/D = 1 dan L/D = 0,25
   EBCF dengan H/D = 1 dan L/D = 0,75.

2) Menurut Tabel II, faktor langit U adalah
AEFD = 1,93%
EBCF = 4,75%
ABCD = 6,68%
Untuk memperoleh angka-angka faktor langit dilakukan interpolasi.

3.
Lubang ABCD : lebar 2 m, tinggi 2 m.
Titik ukur U : 2 meter ke dalam; posisi *lihat gmb 133c*
Didapat :

1) Lubang cahaya dianggap terdiri atas lubang-lubang:
EBCF dengan H/D = 1,0 dan L/D = 1,15 dikurangi
EADF dengan H/D = 1,0 dan L/D = 0,5
2) Menurut Tabel II, Faktor langit untuk U adalah:
EBCF = 6,47%
EADF = 3,56%
ABCD = 2,91%

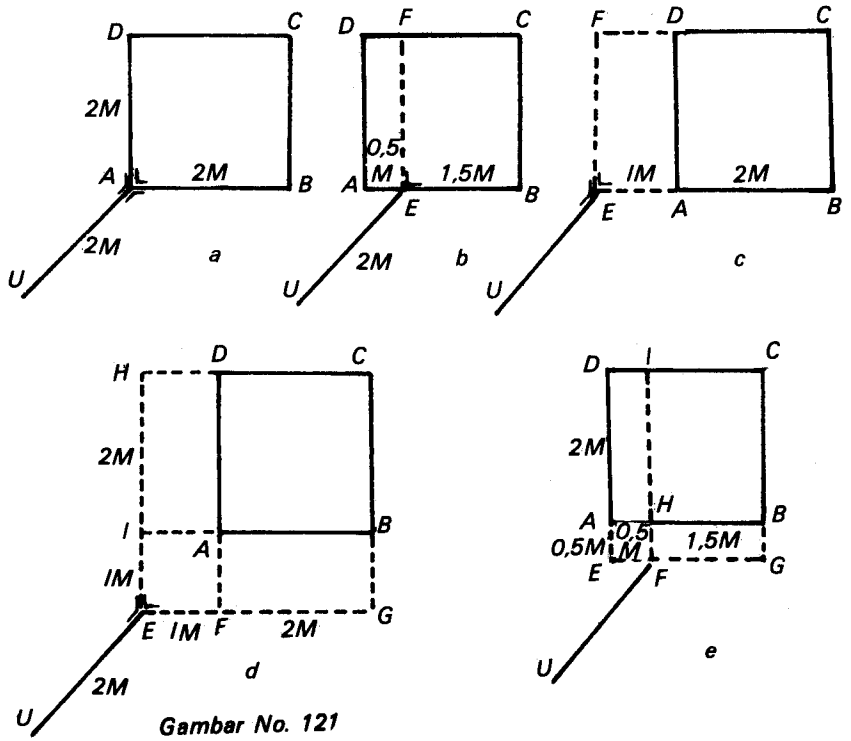
4.
Lubang ABCD : lebar 2 m, tinggi 2 m.
Titik ukur U : 2 meter ke dalam; posisi, *lihat gmb 133d*
Didapat :

1) Lubang cahaya dianggap terdiri atas lubang-lubang:
EGCH dengan H/D = 1,5 dan L/D = 1,5 dikurangi
EFDH dengan H/D = 1,5 dan L/D = 0,5 dikurangi
EGBI dengan H/D = 0,5 dan L/D = 1,5 ditambah
EFAI dengan H/D = 0,5 dan L/D = 0,5.
2) Menurut Tabel II, faktor langit untuk U adalah:
EGCH = 9,52%
EFDH = 4,99%
4,53%
EGBI = 2,40%
2,13%
EFAI = 1,39%
ABCD = 3,52%

5.
Lubang ABCD : lebar 2 m, tinggi 2 m.
Titik ukur U : 2 meter ke dalam; posisi, *lihat gambar 133e*

Didapat :

1) Lubang cahaya dianggap terdiri atas lubang-lubang:
FGCI dengan H/D = 1,25 dan L/D = 0,75 ditambah
FGBH dengan H/D = 0,25 dan L/D = 0,75 dikurangi
FEDI dengan H/D = 1,25 dan L/D = 0,25 dikurangi
FEAH dengan H/D = 0,25 dan L/D = 0,25
2) Menurut Tabel II, faktor langit untuk U adalah:
FGCI = 5,75%
FEDI = 2,30%
8,05%
FGBH = 0,55%
7,50%
FEAH = 0,25%
ABCD = 7,27%



Gambar No. 121

9.20 **Koreksi untuk bagian-bagian jendela yang tidak dapat ditembus cahaya**

a. Demi perhitungan perencanaan dan pengecekan kiranya cukup tepat apabila diperhitungkan, berapa luas bagian yang tidak dapat ditembus cahaya terhadap keseluruhan. Apabila ini misalnya 0% maka tanpa memperhatikan dahulu bagian ini, faktor langit yang diperoleh dari perhitungan harus dikurangi dengan a% × FL.

Penetapan koreksi untuk bagian-bagian jendela yang tidak dapat ditembus cahaya. Kosen dan palang-palang jendela menyempitkan lubang cahaya. Tidak hanya karena ukurannya (bagian-bagian) yang meluas di bidang lubang cahaya effektip, akan tetapi juga ukurannya (bagian-bagian) yang tegak lurus pada bidang ini ikut serta merupakan penghalang cahaya. Misalnya tebal dinding t, maka lebar effektip dari lubang cahaya adalah sama dengan lebar dinding L^1 dikurangi dengan L D t.
Jadi $L^1 = L (1 + t/D)$; L^1 = lebar lubang.: L = lebar lubang effektip.

Untuk D = 2 m dan t = 0,25 m, penyempitan ini berarti 11,1%. Jadi baiknya pertama-tama ditetapkan ukuran effektip ini dahulu, yang dipergunakan perhitungan. Apa yang dibicarakan di sini untuk L juga berlaku untuk H (tinggi lubang effektip). Kemudian tentukan berapa persen luas lubang yang terambil oleh bagian-bagian yang ditembus cahaya. Misalnya untuk jendela kayu yang digunakan dalam hal ini berjumlah a%, maka faktor langit yang dikoreksi = faktor langit yang dihitung dengan Tabel II X (100-a):100.

Ini tentu bukan merupakan perhitungan yang tepat, karena pengaruh dari bagian-bagian yang tidak ditembus cahaya ini tergantung juga dari tempatnya. Tetapi untuk perencanaan dan pengecekan, pendekatan semacam ini dianggap cukup.

b. Contoh perhitungan untuk perencanaan:
Ruang tinggal, panjang 6 m, dalam 5 m.
Titik-titik ukur Utama pada 2 m. Menurut syarat faktor langit untuk titik-titik Ukur Utama (harus minimal 0,35 d) = 1,75%. Untuk Titik Ukur samping (0,16 d) = 0,80%.
Mengingat adanya koreksi rata-rata untuk jendela kayu sebesar 30% maka sasarannya adalah untuk Titik Ukur Utama Faktor langit sebesar 2,5% dan untuk Titik Ukur Samping 1,15%. dari titik ukur utama, maka fl yang dicari = 1,25%. Ini dapat dipenuhi dengan rupa-rupa kombinasi: (Tabel berikutnya).
Faktor langit 1,25%
dipenuhi oleh kombinasi:

H/D	L/D	Lubang Cahaya atau jendela.		
1,9	0,1	lebar 0,4 m	tinggi 3,8 m	luas 1,52 m²
0,8	0,2	lebar 0,8 m	tinggi 1,64 m	luas 1,31 m²
0,6	0,3	lebar 1,20 m	tinggi 1,24 m	luas 1,49 m²
0,52	0,4	lebar 1,60 m	tinggi 1,04 m	luas 1,66 m²
0,47	0,5	lebar 2,00 m	tinggi 0,94 m	luas 1,98 m²

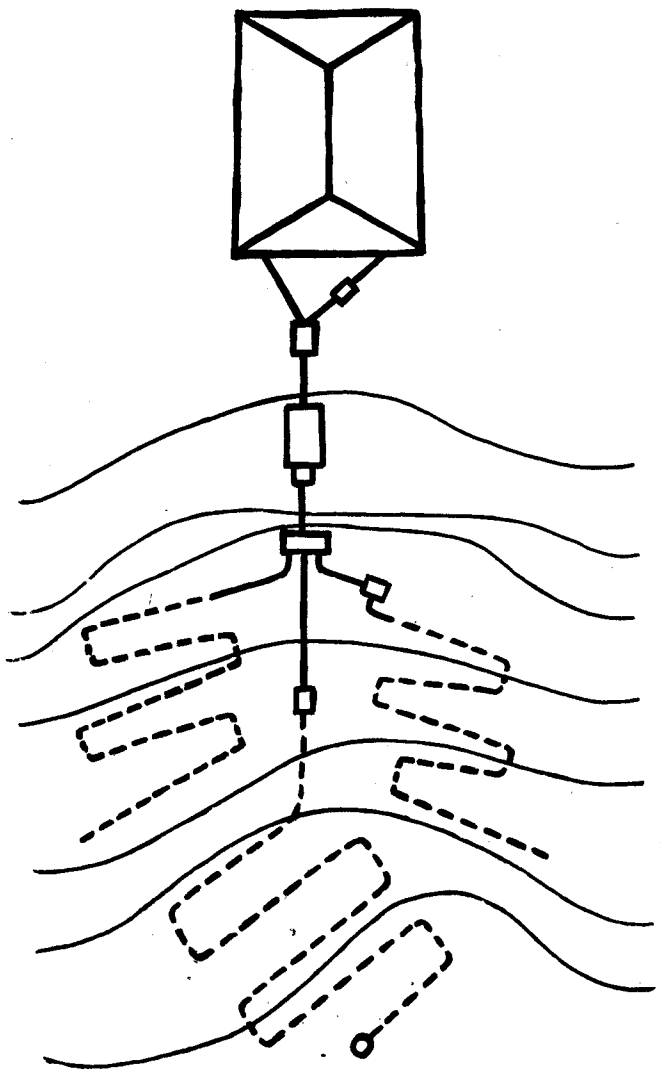
Masih perlu diperhatikan adanya penghalang cahaya oleh bangunan-bangunan di seberang jalan. Dimisalkan jarak antara titik ukur dan titik-titik dari bangunan di seberang jalan rata-rata 30 m dan tingginya di atas bidang kerja = 9 m. Maka ini berarti bahwa bagian lubang sampai H/D = 0,3 tidak memberikan jalan kepada cahaya langsung dari langit.
Dalam hal ini hasilnya akan sebagai berikut:

Kombinasi		Lubang Cahaya atau Jendela		
H/D	L/D	lebar m	tinggi m	luas m²
2,58	0,1	0,40 m	5,16 m	2,06 m²
0,97	0,2	0,80	1,94 m	1,55 m²
0,74	0,3	1,20 m	1,48 m	1,78 m²
0,65	0,4	1,60 m	1,30 m	2,08 m²
0,59	0,5	2,00 m	1,18 m	2,36 m²

Untuk memenuhi ketentuan yang berlaku bagi Titik Ukur Samping, masing-masing jendela di samping hanya membutuhkan kurang lebih seluas 50% dari jendela di tengah. Hal ini berlaku, apabila pengaruh dari jendela tengah untuk Titik-titik Ukur Samping sama sekali tidak diperhitungkan.
Untuk memenuhi sekaligus kedua ketentuan perhitungan dapat diambil satu jendela simetris terhadap Titik Ukur Utama dengan ukuran:

	lebar 4,00 m	tinggi 1,10 m	luas 4,40 m²
atau	lebar 3,50 m	tinggi 1,20 m	luas 4,20 m²
atau	lebar 3,00 m	tinggi 1,40 m	luas 4,20 m²

Kemungkinan di atas hany sebagai contoh saja, karena masih banyak kombinasi-kombinasi lain yang mungkin. Dalam perhitungan-perhitungan ini, selalu diambil sebagai bagian terendah dari jendela-jendela adalah tinggi bidang kerja (0,75 m dari lantai).



Gambar No.122

10.0 Umum

Air kotoran seumumnya ada empat macam:

1) = air hujan
2) = air bocoran (dari kanal, sungai dan sebagainya)
3) = air buangan rumah-rumah tangga dan
4) = air buangan perusahaan (industri)

Tetapi yang kita bicarakan di sini hanyalah air buangan rumah-tangga saja, karena ini langsung menyangkut kesehatan penghuni rumah. Air hujan dan air kotoran lainnya biasanya kita salurkan ke riool umum atau selokan-selokan pembuangan air kotoran khusus sebaik mungkin. Baik melalui selokan-selokan kecil dalam halaman yang tertutup atau berupa pipa-pipa beton atau keramik, maupun melalui selokan-selokan terbuka.

Air hujan atau air bocoran biasanya bisa dianggap bersih, walaupun sering air bocoran tidak cukup tersaring oleh lapisan-lapisan tanah karena mungkin halaman terlalu dekat letaknya dengan kanal dan sebagainya. Tetapi air hujan dan bocoran, apa lagi air kotoran sisa perusahaan yang tidak lekas disalurkan keluar akan membentuk comberan yang kotor berbau dan sering kali membahayakan. Lebih lagi bila itu tercampur oleh air kotoran dari kamar-mandi, WC dan dapur. Oleh karena itu demi pencegahan penyakit-penyakit menular, lagi kerapian dan kebersihan dari halaman dan rumah-tangga kita, sangatlah penting kita memperhatikan masalah pembuangan air kotoran ini.

10.1 Derajad pengotoran air buangan

a. ***Derajad pengotoran air,*** kita hitung dengan jumlah gram per orang penghuni dan per hari

	mineral	organis	total	BOD	
1) bahan-bahan melayang yang dapat mengendap	15 a 20	35 a 40	50 a 60	15 — 19	
2) bahan-bahan melayang yang tak bisa mengendap.	7,5 a 10	17,5 a 20	25 a 30	7,5 — 12	
3) bahan-bahan koloidal dan larut yang tidak dapat mengendap.	25 a 50	50	75 a 100	27,5 — 25	35
total:	47,5 a 80	102,5 a 110	150 a 190	*50 — 54 (gr/or/h)*	

(angka-angka tebal dari penelitian Imhoof).

Untuk rumah-tangga kita bisa menganut pedoman ini:
Bahan-bahan dari golongan a) biasanya sudah mengendap 95% sesudah satu jam diendapkan dan sesudah 2 jam hampir 100%.

Bahan-bahan dari golongan b) tertinggal pada kertas filter, sedangkan bahan-bahan koloidal dan yang larut baru tinggal tersisa sesudah airnya diuapkan semua. Sisa ini terdiri lagi dari 3 macam benda, yakni, pertama *bahan kering* atau sisa mirip lumpur. Yang kedua merupakan bahan *mineral* dan yang ketiga bahan-bahan organis.

b. *Pemakaian zat-asam secara kimia-bio*
Selain derajad pengotoran, harus pula kita memperhatikan segi kimia-bio atau khususnya: pemakaian zat-asam pada air tersebut atau yang disebut BOD (Bio-chemical Oxygen Demand) yang disebabkan oleh *oksidasi biologis* dari bahan-bahan organis. (lihat tabel Pasal 10.1.a)

$BOD5^{20}{}_5$ berarti: jumlah g/m³ O_2 yang dibutuhkan untuk oksidasi biologis sejumlah bahan (dalam air kotor) pada suhu 20°C selama 5 hari. Dari tabel tersebut dapat dihitung, bahwa pemakaian air selokan kotor 0,1 m³/or/hari membutuhkan BOD = 54/0,1 = 540 g/m³. Bila air sudah mengendap, maka BOD = 35/0,1 = 350 g/m³.

Sering kesatuan pengotoran dihitung dengan ekwivalen penduduk (p), yaitu kesatuan pengotoran (dihitung dengan $BOD^{20}{}_5$) yang disebabkan oleh satu orang penduduk (yakni 54 g BOD/hari, bila itu air kotor, dan 35 g/BOD/hari bila airnya sudah mengendap).

c. *Pemakaian zat-asam secara kimia*
Demikian juga dalam soal kotoran (yang seumumnya selalu menyentuh segi kimia biasa saja dari proses oksidasi benda-benda organis) perlu diperiksa kadar penyusupan pelbagai persenyawaan-persenyawaan nitrogen, seperti amoniak bebas (NH_3) amoniak saline, amoniak-albuminoid nitrad dan nitrit ($N_2O_5 N_2O_3$) dan sebagainya. Seyogyanya air kotoran punya pH (kadar ion zat air) yang tidak sangat menyimpang dari 7 (air bereaksi netral). Jelaslah bahwa air, biarpun kotor, jangan terlalu lama diam sehingga menjadi air comberan.
Artinya: Benda-benda dalam air jangan diberi kesempatan terurai atau larut semua, sehingga air masih berkadar zat-asam sedikit. (warna masih kelabu muda). Bila sudah menjadi kehitam-hitaman, maka zat-asamnya telah terpakai habis dan air-kotoran membusuk, lalu berbau juga.

d. Dari sebab itu tuntutan pertama ialah pembuatan saluran-saluran yang landai, tetapi yang selalu mengalirkan air secara cepat. Jangan ada tempat-tempat jalan buntu yang memungkinkan kotoran atau lumpur berhenti. Sudut-sudut pembelokan harus tumpul, sehingga arus tetap lancar, sedangkan pada tempat-tempat tertentu, demi mudahnya pembersihan saluran atau pipa, diberi tempat-tempat pengendapan lumpur yang gampang dibersihkan. Demikian lumpur tidak menumpuk pada akhir saluran, sehingga membentuk tanggul comberan dan akhirnya bisa menutup sama sekali saluran.

e. Selanjutnya secara kimia, air kotoran dapat diukur derajad kotorannya. Artinya derajad penggunaan O_2. Atau kadar *penggunaan KMn O_4* (kalium permanganat).

10.2 Pemurnian kembali air kotoran

Dalam keadaan biasa dan jumlah yang relatip kecil air kotoran dibersihkan sendiri oleh proses-proses alam, karena air di tengah alam memiliki daya pembersihan diri sendiri. Proses pembersihan alami itulah yang ditiru dan diintensipkan dengan penggunaan prinsip-prinsip yang sama dalam alat-alat atau instalasi-instalasi buatan, terutama untuk kota-kota besar yang padat (dan tidak alami lagi keadaan lingkungannya).

a. Prinsip pokok pembersihan itu ialah, bahwa benda-benda sisa (kotoran) dalam air yang bersifat organis (biasanya persenyawaan-persenyawaan kompleks dari zat-arang, zat-air, zat-asam dan zat-lemas) dimakan oleh *bakteri-bakteri atau protozoid yang suka pada hawa udara* (disebut: bakteri-bakteri *aerobe),* dengan pemakaian zat-asam-udara. Pemakanan itu merombak benda-benda sisa tadi ke dalam uraian-uraian mineral yang lebih sederhana susunannya, seperti CO_2, H_2O, N_2O_3 dan N_2O_5. Proses itu disebut mineralisasi. Proses pembongkaran (uraian) tersebut dapat berlaku tanpa bau, sedangkan benih-benih penyakit dalam lingkungan proses ini tidak bisa subur, dikalahkan dan akhirnya dibunuh oleh suku bakteri aerobe.
Tempo lambat-cepat proses mineralisasi itu tergantung sekali dari pengiriman zat-asam ke dalamnya. Semakin banyak udara masuk, semakin subur pertumbuhan hidup biologis aerobe dan semakin cepat juga benda-benda organik itu terurai. (Hal ini penting, bila kita ingin membuat kompos dari benda-benda sisa atau sampah).

Demikianlah maka sangat pentinglah arus dan ombak air (pembaharuan dan perluasan permukaan air yang terkena udara) atau pengadukan (turbulensi) air itu sendiri, yang memungkinkan bagian-bagian air kotoran di bawah bisa naik dan diperbaharui kadar zat-asamnya oleh udara.

Untuk instalasi-instalasi sederhana rumah-tangga biasa, dan di tempat-tempat yang memungkinkan, cara paling sederhana ialah penyaluran air-

kotoran ke sungai dan menyerahkan proses pembersihan kepada alam. Tetapi hal itu, terutama di kota-kota, sudah hampir tidak mungkin lagi. Maka proses alami itu kita tiru, dalam cara yang sederhana, mungkin kurang cepat bila dibanding dengan proses alami, namun harus mencukupi.

Dari sebab itu kita mengenal tahapan-tahapan ini dalam proses pembersihan:

b. *Pembersihan awal* yakni: *proses mekanis,* yang bertujuan untuk menyaring air dari kotoran-kotoran atau sampah berupa benda-benda yang terlampau besar, agar bisa dibuang ke dalam lubang-sampah dan sebagainya untuk dijadikan kompos. Atau dibuang melalui kotak-kotak pembuangan khusus.

Dalam penyaringan ini bisa dipakai: ruji-ruji atau kasa-kasa, roster, dan sebagainya. Juga suatu bak yang dipakai untuk mengendapkan benda-benda keras berat atau lumpur/pasir dan sebagainya. Agar dalam jangka waktu tertentu semua bisa dibersihkan dengan mudah.

Untuk kotoran-kotoran industri selanjutnya masih diperlukan pembersihan secara kimia, demi kebersihan lingkungan. Untuk rumah-tangga sederhana hal itu tidak perlu. Kemudian baru kita sampai pada:

c. *Pembersihan akhir* yakni proses kimia biologi atau *mineralisasi* tadi dengan pertolongan bakteri-bakteri *aerobe*. Berkat pembersihan awal tadi, 30% dari proses pembersihan keseluruhan sudah dijalani. Tujuan pembersihan akhir di sini ialah menciptakan keadaan dan suasana yang paling baik, agar para bakteri aerobe bisa menjalankan karyanya secara maksimal.

Cara yang paling sederhana, tetapi hanya bisa dipakai di daerah pedesaan dan tanah yang relatip masih luas, ialah pembuatan kolam-kolam ikan. Kolam dibuat dangkal saja, tetapi luas permukaannya. Ikan menyebabkan air bergolak dan mengombak, dan kendati mereka membutuhkan jatah O_2 juga dari air, namun mereka berguna untuk memakan bibit nyamuk dan menambah penghasilan orang. Tetapi ingat, bahwa ikan hanya bisa hidup dalam kondisi air segar, artinya harus ada sumber reserve air mengalir yang cukup. Kolam-kolam tanpa ikan cukup segera akan menjadi sarang nyamuk dan berbahaya (kolam oksidasi yang berhenti airnya).

Oleh karena bahaya penularan penyakit dan sebagainya dirasakan lebih gawat daripada penyelesaian soal dengan kolam-kolam oksidasi yang terbuka, terpaksalah kita harus membuat pembuangan air kotoran dalam ruangan-ruangan yang tertutup. Terutama hal itu menjadi sangat penting, apabila kita tidak menghadapi air kotoran dari dapur atau kamar-

mandi belaka, melainkan dari WC. Tinja dan air-seni manusia dalam keadaan kepadatan penduduk seperti di kota-kota tanah air kita, cukup berbahaya. Namun juga di pedesaan, kotoran WC harus ditutup rapat dari hawa udara. Khususnya penyakit tipus, para-tipus, diaree, disentri, penyakit cacing dan sebagainya melalui kontak langsung ataupun melalui lalat-lalat sebagian besar disebabkan karena keadaan pembuangan kotoran, najis atau hajad manusia yang masih terbuka. Apalagi bila pembuangan kotoran, najis manusia terletak dekat dengan perigi/sumur. Pembuangan hajad manusia harus terletak minimum 20 langkah atau 15 meter dari perigi sumur. Lebih jauh lebih baik.

d. Dari sebab itu, saluran air kotoran sebaiknya tertutup dari udara, akan tetapi cukup besar penampungannya dan memungkinkan pengaliran yang cepat. Air dan kotoran najis dimasukkan dalam suatu sumur tertutup atau tangki. Air meresap dari dalam tangki atau dialirkan keluar dari tangki yang rapat (tangki-septik) ke tanah-tanah peresapan yang dikhususkan untuk itu. Fungsi dari *tangki septik* dengan *bidang peresapannya* ialah pemungkinan pembersihan kotoran secara kimia biologis.

Kotoran-kotoran yang mengendap yang terutama terdiri dari zat-zat organik dalam tangki ini dibiarkan dalam keadaan yang disebut *anaerob,* artinya dalam lingkungan organisme mikro, yang bisa memungkinkan bakteri-bakteri tertentu hidup dan berkembang tanpa pemberian zat asam (dari udara) bisa hidup dan berkembang. Begitulah kotoran-kotoran dibusukkan (terurai) dari zat-zat bersenyawa relatip kompleks menjadi yang lebih sederhana. Begitulah jumlah endapan menyusut dan pembersihan lumpur endapan (yang sangat menyuburkan tanah) dapat dilakukan 2-5 tahun sekali. Dari sebab itu, dasar bak septik sebaiknya dibuat miring, sehingga cara pengambilan endapan dapat dipermudah. Sedangkan bagian-bagian yang relatip berat mengendap, bagian-bagian yang relatip ringan, termasuk busa-busa kotoran-kotoran dan sebagainya mengambang di atas permukaan air dalam tangki.

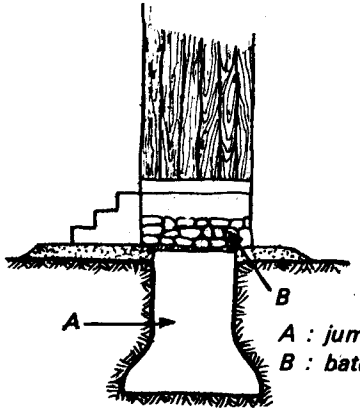
Air dari tangki ini masih mempunyai cukup BOD (Biochemical Oxygen Demand) untuk bakteri-bakteri aerobik, sehingga dalam tempat-tempat peresapan, masih dimungkinkan sedikit proses penguraian secara aerobik. Tetapi ingatlah, bahwa air ini masih bisa mengandung bakteri-bakteri penyakit, organisme-organisme berbahaya atau telur-telur cacing. Jadi bagaimanapun, mulut saluran dari air tangki septik paling sedikit masih harus berjarak 15 m dari sumur.

e. Ukuran tangki sangat penting karena faktor-faktor inilah yang ikut menentukan proses penguraian: *luas* daerah *aliran effektip, ruangan* untuk *endapan kotoran,* dan *ketenangan air* dalam tangki. Sebab lain dari kolam

oksidasi yang justru bergolak airnya demi pemasukan O_2, *proses anaerobik* dalam tangki *tidak menghendaki gangguan* untuk berkembang biak dan bekerja.

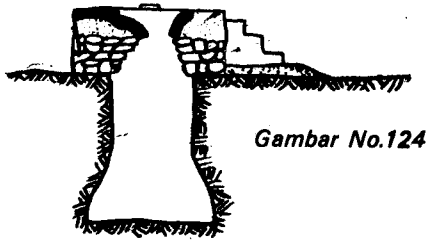
10.3 **Perencanaan tangki-tangki pembuangan air-kotoran**

a. Air kotoran, terutama yang datang dari WC. dan mengandung hajad sebaiknya dibuang dalam pembuangan-pembuangan yang tertutup rapat dari tanah sekitarnya, terutama bagian dasarnya. Juga dari atas ia harus ditutup dari hawa udara, terkecuali suatu pipa yang menjulang keluar tidak begitu besar, demi pembuangan gas-gas yang berbau. Pembuangan dalam bentuk yang paling sederhana ialah yang disebut jumbleng atau comberan (pit privy) *(gambar 123)* dan yang tertutup dari hawa udara, baik pun baknya maupun pipa-salurannya dengan pertolongan leher-angsa. *(gambar 124)* Tetapi cara itu tidak dianjurkan, bahkan terlarang pada jarak kurang dari 15 meter atau 20 langkah dari sumur, atau tempat-tempat lain yang sering diambil airnya untuk keperluan rumah-tangga. Jumbleng sebenarnya semacam sumur saja, tidak terlalu dalam dan berfungsi menjadi tempat wadah air kotoran dan endapannya.



A : jumbleng
B : batu kosongan

Gambar No. 123
Hanya untuk buang air kecil



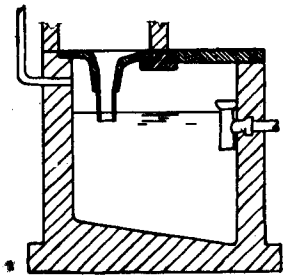
Gambar No.124

WC model lama
tidak dianjurkan bahkan dilarang

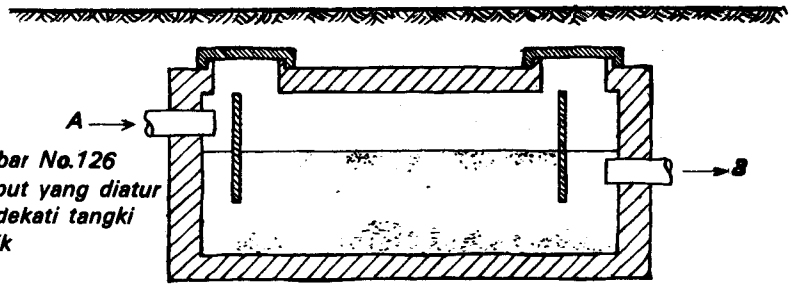
Dari sebab itu dasarnya dibuat dari bahan-bahan seperti tumpukan batu kosongan atau ijuk, kerikil dan sebagainya yang harus menolong peresapan air ke dalam tanah. Demikianlah lapisan dasar yang banyak berongga itu memungkinkan sedikit pembersihan air yang dikerjakan oleh bakteri-bakteri *anaerobik,* artinya bakteri-bakteri yang tidak membutuhkan zat-asam dari hawa udara untuk pembongkaran kotoran. Pada tutup diberi

pipa untuk memungkinkan keluarnya gas-gas (sebagian besar gas metan) yang berbau itu.

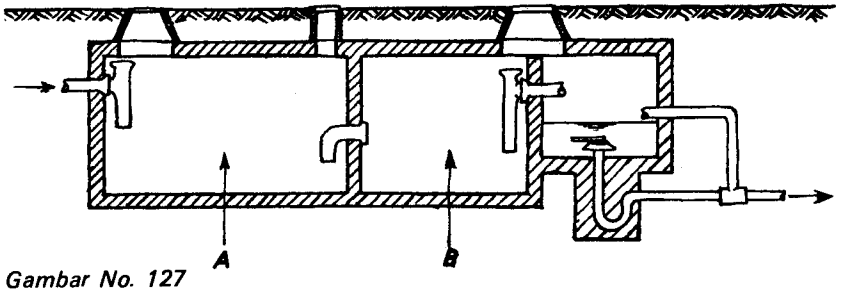
b. Sumur pembuangan kotoran yang lebih baik dari jumbleng belaka ialah tangki yang berdinding kuat rapat dari segala sisi, sehingga yang keluar hanyalah air yang relatip sudah agak bersih. Tangki semacam itu ada dua macam, walaupun prinsipnya sama yakni yang disebut berpet (dari bahasa Belanda beerput) *(gambar 125) dan yang kedua: tangki septik. (gambar 126-129).*



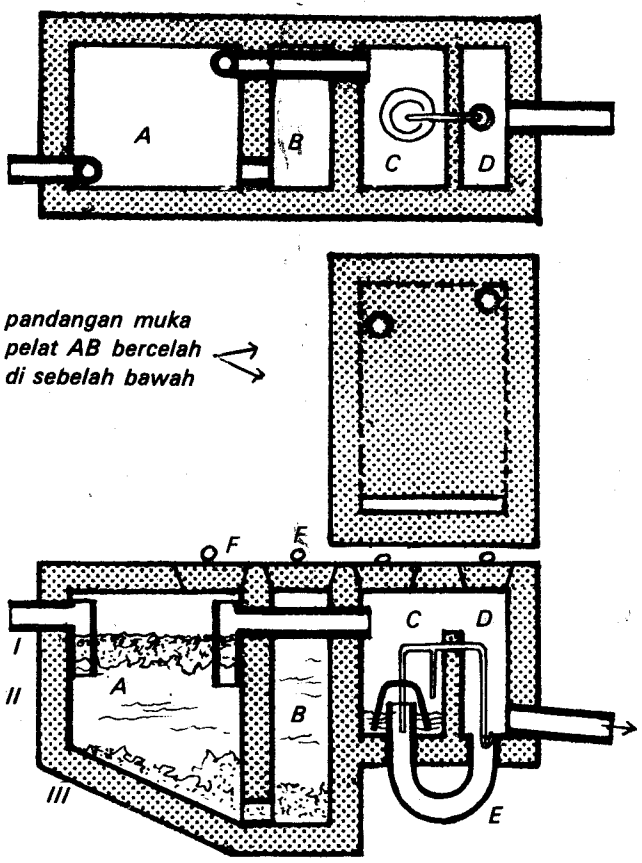
Gambar No 125



Gambar No.126
Beerput yang diatur mendekati tangki septik



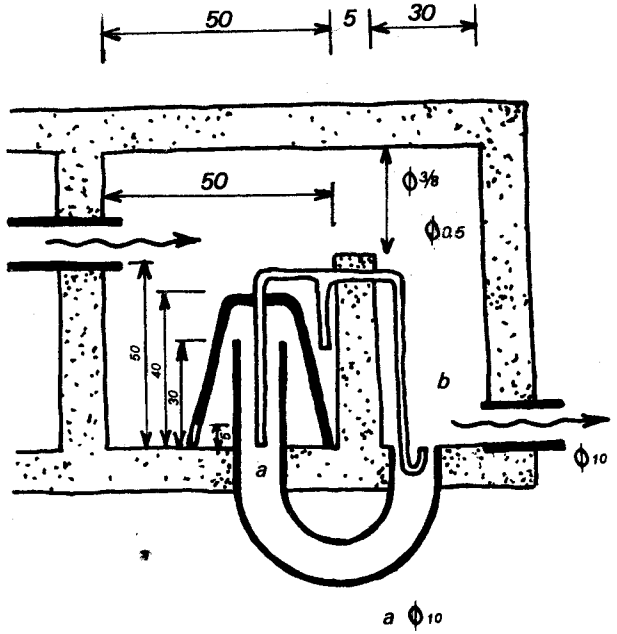
Gambar No. 127
A = kotak endapan *B = kotak pembersih lanjut* ***TANGKI SEPTIK***



Gambar No. 128 Model tangki septik ini lebih efisien dari pada dalam gambar 127.

pipa a lebih tinggi dari b
I busa + kotoran mengapung
II air
III endapan yang melorot ke B

E : alat penggelontor (pembubuh)
F : tutup lobang
A : pembuangan pertama
endapan melorot ke bak B
B : lumpur bisa diambil tanpa menggoncangkan lapisan busa di A
C : air lebih dibersihkan
secara biologis



Gambar no. 129

Gambar No. 129 Alat penggelontor (pembubuh) rencana prof. G. Macdonald seperti sifon kloset WC. Tetapi di sini sifon sudah bisa berjalan, walaupun air mengalir sedikit demi sedikit ke pipa a dan tidak mendadak seperti di dalam sifon WC biasa.

isi + 300 liter —
1,00 x 0,6 x 0,5 M 1,00 X 0,6 X 0,5 M
jika air kotoran 1000 1/hari
alat ini bekerja 3 x sehari

Tujuan pipa b dipasang dalam pipa a:

1) kunci air pada pipa a lebih tinggi dari kunci air pada pipa b yang berbentuk U
2) dengan naiknya air, udara keluar dari kunci air b. Karena b kecil maka satu gelombang udara dapat mengeluarkan seluruh air dari b.
3) begitu udara dari pipa a mudah keluar melalui b itu.
4) maka air dari bak mendadak masuk pipa a dan bekerjalah sifon itu.

Keterangan:
1) kunci air b terjamin lebih rendah dari kunci air a.
2) kunci air b terjamin selalu terisi lagi dengan air yang mengalir dari pipa a.

Perbedaan berpet dan tangki-septik hanyalah dalam cara perjalanan air di dalam tangki itu sebelum ke luar. Dalam tangki-septik kesempatan pembersihan biologis oleh bakteri-bakteri dapat diperpanjang waktunya dan lebih sempurna hasilnya. Akan tetapi ingatlah, bahwa air yang ke luar dari tangki-tangki septik belum bebas sama sekali dari benih-benih penyakit dan telur-telur cacing dan sebagainya yang bisa membahayakan manusia. Hal itu perlu diperhatikan, karena sering orang memanfaatkan air yang keluar dari tangki-tangki septik sebagai siraman pupuk untuk kebun-halaman. Biasanya berpet atau tangki-septik dibuat dari beton atau batu-batu yang rapat. Sedangkan air kotoran masuk dari atas, kotoran-kotoran yang padat mengendap ke bawah. Karena itu dasar berpet atau tangki septik harus dibuat agak miring. *(lihat gambar 125)*. agar mudah dibersihkan kelak.

Mengambanglah di permukaan air-kotoran dalam tangki banyak busa dan kotoran berberat jenis ringan, sampai setebal 20-40 cm. Lapisan busa ini penting, jangan diganggu, karena perlu selaku lapisan penutup air dalam t tangki. Dengan penutupan itu bakteri-bakteri *anaerobik* lebih bisa berkembang biak dan bekerja secara tenang. Dan begitulah proses pembersihan dapat lebih sempurna. Oleh karena itu perhatikanlah *(gambar 128, 129)* susunan pipa-pipa pemasukan dan pengeluaran air tangki. Dengan cara itu kotoran bisa masuk-keluar tanpa mengganggu lapisan penutup yang berupa busa itu. Dalam proses biologi yang terjadi dalam tangki-septik selalu keluarlah gas-gas, terutama gas *metan,* yang sebenarnya merupakan bahan bakar yang bagus untuk dapur dan lampu-lampu. Maka sekarang sudah mulai dianjurkan juga penampungan gas-gas itu agar dimanfaatkan sebagai sumber energi (selama masih menguntungkan dalam perhitungan ekonomis).

c. Beberapa pedoman bisa diperhatikan:

1) Dianggap bahwa pemakaian air setiap hari per orang adalah 100 liter (air kotoran tinggal di tangki minimum 24 jam.) Dengan peningkatan peradaban diperlukan sampai 200 liter/hari. Maka batas paling pendek lalu menjadi 12 jam di dalam tangki. (lebih singkat lagi terlarang).

2) Persediaan air per orang per hari yang dibutuhkan agar jalannya tangki baik adalah sekitar 90 liter.

3) Air kotoran harus diam dalam tangki-tangki antara 12 sampai 24 jam.

4) Maka Volume tangki dianjurkan oleh WHO, agar bisa melayani 10 orang pemakai. Jika lebih banyak pemakainya, maka sebaiknya kita membuat tangki septik yang lebih besar atau membuat satu tangki lagi yang dipasang berjejer.

5) Ruangan penyimpanan lumpur (kotak pertama) harus dihitung dengan ukuran kira-kira 30 liter per orang per tahun.

6) Lumpur tersisa dalam tangki, yang ternyata sudah diperkecil volumenya selama proses-proses biologis itu, harus dibuang setiap tahun, paling lama per 4 tahun. Sebab, volume air di dalam tangki itu harus cukup banyak untuk memperoleh proses biologi. Lumpur yang dikeluarkan dari tangki tidak boleh mengandung kotoran sisa tinja atau hajad lain yang masih baru (belum terurai) dan harus sudah merupakan lumpur betul-betul, busuk dan stabil, tidak atau sedikit sekali mengandung bakteri-bakteri yang berbahaya.

7) Ruang gas metan dan busa minimum adalah setinggi 15 cm di atas air, tetapi sebaiknya 30 cm.

d. *Rencana tangki-septik dengan pembuangan lumpur setiap 1 tahun*

1) Pengendapan: 10 x 100 liter = 1,0 m^3
Ukuran: 1,25 x 1,00 m dalam 0,8 m.

2) Penyimpanan lumpur 10 x 30 liter = 0,30 m^3
Ukuran: 1,25 x 1,00 m
dalam rata-rata 0,24-0,25 m

Dasar bak miring, bagian penyimpanan lumpur hingga-0,5 mm

3) Untuk ruangan gas dan busa: setinggi 30 cm

4) Jadi ukuran seluruhnya: 1,25 x 1,00 m

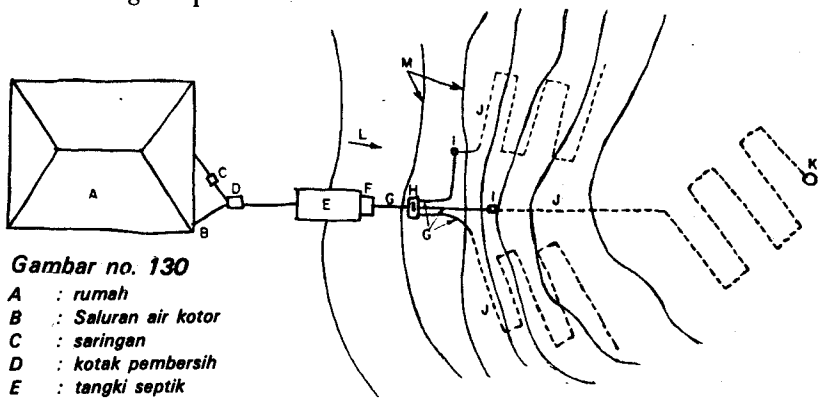
Di tempat air masuk, sedalam 1,10 m. Di tempat air keluar, sedalam 1,60 m.

Ruang lumpur kedua

5) 1,00 x 1,00 m. sedalam 1,60 m. Isi basah: 1,00 x 1,00 x 1,30 = 1,30 m^3 lumpur yang diambil setiap tahun dipakai untuk pemupukan tanam-tanaman.

c. Menurut peraturan BOW yang masih berlaku, ditetapkan kemampuan tangki berpedoman 75 liter per orang pemakai. Tangki septik yang terkecil maksimum hanya boleh dipakai oleh 15 orang dan berukuran minimum 1,00 x 0,75 m dan sedalam 0,5 m. Biasanya tangki septik terbagi oleh beberapa dinding tengah yang tipis menjadi 2 a 3 kamar. Dinding-dinding itu memaksa air untuk menjalani jalan yang relatip panjang dan teratur arusnya, sehingga proses pembusukan air dan bahan-bahan padat lebih sempurna. Banyak cara sistem yang dipakai untuk pengkotakan dan pengaturan arus air tangki itu. Salah satu dapat anda lihat dalam *gambar no. 128*. Jelaslah inti perkara di sini ialah usaha, agar permukaan air dapat stabil dan selalu tertutup oleh busa, sedangkan perjalanan air memungkinkan penguraian biologis yang lebih lama.

Dulu orang mengira bahwa air dalam tangki septik tidak boleh dicampur dengan air-mandi yang mengandung banyak sabun atau air dari dapur yang banyak mengandung lemak. Akan tetapi kekhawatiran itu ternyata agak berlebih-lebihan. Tangki septik yang diisi dengan campuran air WC. dan air-mandi tetap berfungsi baik, asal volumenya jangan terlalu kecil, sehingga proses penguraian kotoran dapat berjalan leluasa. Hanya air karbol dan zat-zat kimia lain yang jelas membunuh organisme hidup, seperti minyak tanah, endrin dan sebagainya janganlah hendaknya sampai masuk tangki septik.



Gambar no. 130

A : rumah
B : Saluran air kotor
C : saringan
D : kotak pembersih
E : tangki septik
F : pengatur arus
G : pipa penghubung
H : kotak pembagi
I : pintu air untuk daerah rendah
J : pipa-pipa keramik serapan
K : kotak serapan terakhir (bila perlu)
L : ladang menurun
M : garis-garis tinggi tanah

10.4 **Tanah peresapan** *(gambar 130)*

a. Air yang keluar dari tangki bisa dimanfaatkan karena menambah kesuburan tanah. Karena itu seyogyanya disalurkan ke pekarangan atau tegal yang dijadikan tanah peresapan. Air disalurkan ke suatu *kotak-distribusi* dan semua pipa-pipa yang keluar dari kotak pembagian itu dipasang pada ketinggian yang sama, agar memperoleh pembagian yang merata. Pipa-pipa peresapan dipasang dengan kelandaian kira-kira 1,5-3,5 cm per 10 meter. Jangan sampai pipa peresapan ini lebih panjang daripada 30 meter, sebab nanti pembagian air sulit untuk merata. *Pipa-pipa peresapan* adalah pipa keramik biasa (garis tengah sekitar 10 cm) dan dipadukan satu dengan yang lain secara lepas-lepas (jarak 0,5-1 cm). Sebaiknya di sisi atas di tempat paduan itu ditutupi sehelai plastik, agar pipa tidak lekas tertambat tanah guguran.

Pipa-pipa tersebut diletakkan dalam saluran-saluran selebar kira-kira 60 cm pada dasarnya dan sedalam 50-90 cm. Dasar saluran perletakan pipa-pipa diberi kerakal batu atau pecahan-pecahan bata setebal 15 cm. Pada

alas kerakal itu pipa diletakkan, lalu ditimbuni bahan peresapan (krikil dan pasir urug). Saluran ditutup sampai permukaan dengan pasir atau tanah gembur.

Semakin banyak air dari tangki, semakin panjang dan banyak pula pipa-pipa peresapan dibutuhkan. Itu pun tergantung dari bahan tanah macam apa. Tanah yang padat seperti tanah-liat tentulah sangat sulit meresap air, sedangkan tanah berpasir sangat mudah menyerapnya. Sebagai pedoman dalam keadaan biasa, kita dapat berpegangan pada rumus: jangan melebihi panjang 30 meter dan jarak antara pipa yang satu dengan yang lain adalah tiga kali dari lebar dasar saluran peresapan, yang minimal adalah 60 cm.

Jika permukaan air tanah sangat rendah, kita bahkan tidak membutuhkan pipa keramik. Cukup pembuatan *filter pasir*. Pipa keramik digunakan paling dekat 3 meter di atas permukaan air-tanah. Bila kurang dari itu, sebetulnya tanah sudah kenyang mengandung air karena daya kapilarnya. Jadi sudah tidak memungkinkan air dari atas menambah kadar airnya. Ingatlah bahwa *proses pembusukan (dekomposisi) membutuhkan* O_2. Maka bekerjalah cermat dan jangan sampai saluran-saluran terlalu banyak kebanjiran air dari tangki. Kesulitan sistem tangki dan tanah-peresapan dengan pipa-pipa ialah biaya investasinya yang cukup tinggi. Juga pembuatan tangki yang kedapatan air itupun sudah cukup mahal. Tetapi di dalam tanah-tanah di dalam kota, sistim tangki memang sangatlah sehat.

b. *Perhitungan bidang resapan:*

1) Buatlah percobaan tanah dulu dengan menggali lubang 30 x 30 cm sedalam 70 cm. Isilah lubang dengan air. Tunggu air sampai merembes semua. Lalu isi lagi setinggi minimum 15 cm. Sekarang ukurlah 1) waktu yang dibutuhkan agar seluruh air meresap dan 2) waktu rata-rata (menit) yang dibutuhkan air menurun 1 cm, (disebut faktor perkolasi) = (T). maka

$$C = \frac{100 \text{ (liter/m}^2\text{/hari)}}{T \text{ (menit/cm)}}$$

oleh WHO dianjurkan $C = \frac{135}{T}$

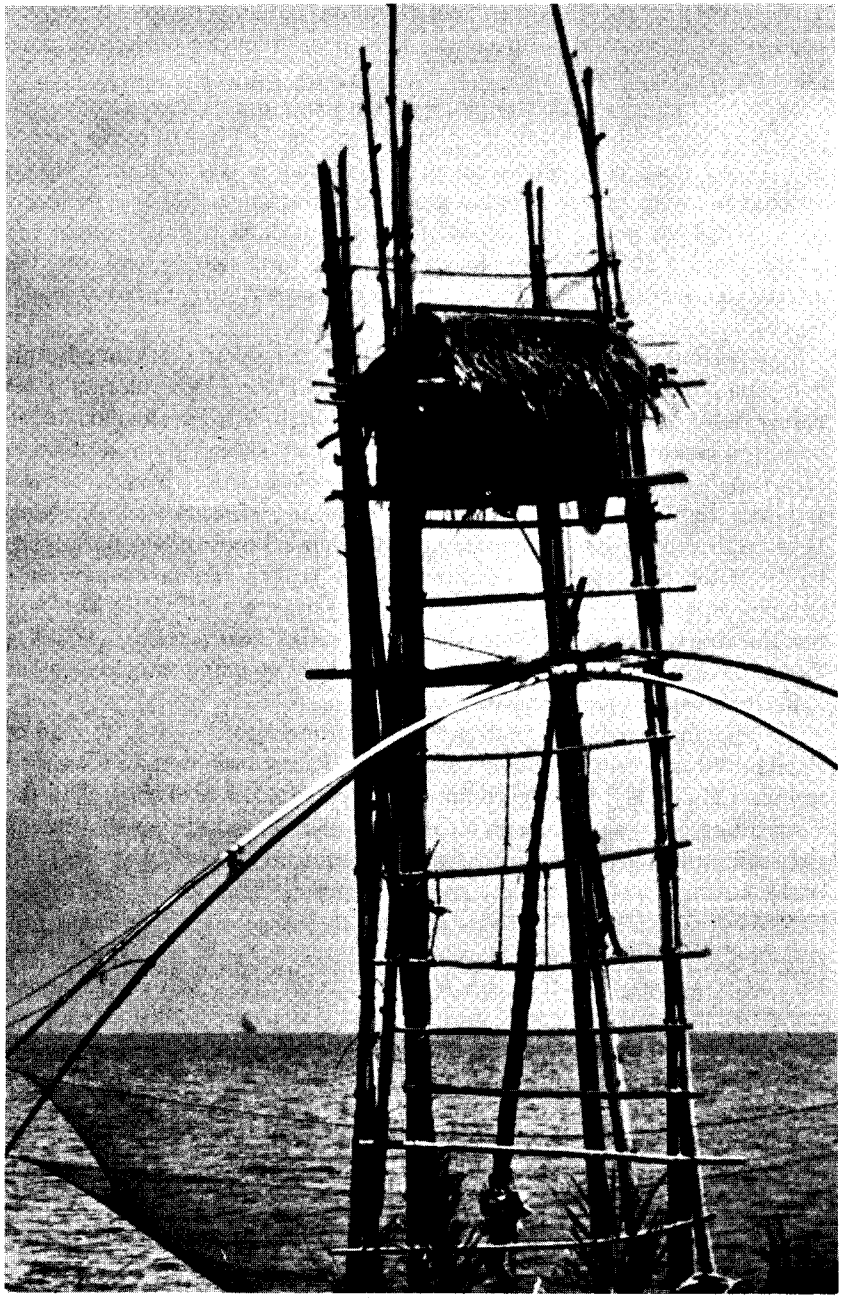
C = kapasitas peresapan dari bidang tanah.

Jadi bila rumus $C = 100/T$ maka hasil yang kita capai tentu lebih baik.

2) Lebar bidang resapan = 0,5 m.

Karena air yang harus dibuang = 1000 liter maka panjang pipa resapan

$$L = \frac{1000}{0{,}5 \times \frac{100}{T}} = \boxed{L = 20\ T}$$



IV

PANCA SARANA WISMA

Umum

Ada lima bagian pokok rumah yang merupakan sarana dasar setiap rumah

Pasal : **11** = atap
12 = pendukung atap
13 = alas atau sendi
14 = lantai
15 = dinding

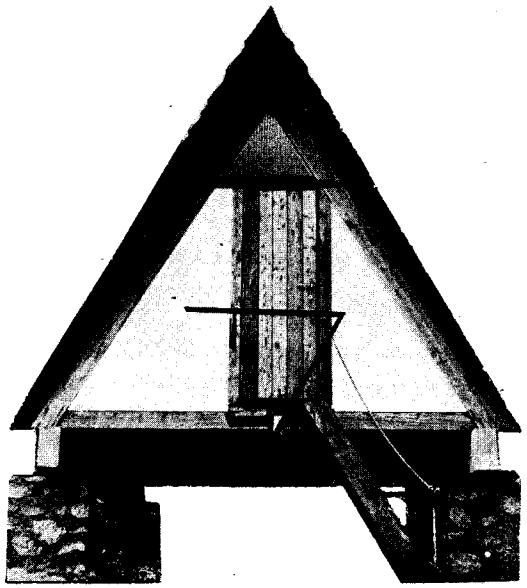
Panca Sarana itu terdapat pada semua rumah, baik dalam gubug paling sederhana di tengah sawah maupun di gedung pencakar-langit. Sering dinding ditiadakan, misalnya dalam pendopo rumah Jawa. Tetapi dinding pendopo diganti dengan dinding-dinding halaman atau pelataran. Sering keseluruhan rumah praktis hanya terdiri dari atap belaka, seperti pada tenda bangsa-bangsa di padang pasir atau di tenda Pramuka. Ada suatu keadaan yang menuntut rumah dirajai oleh unsur dinding, seperti terjadi pada setiap benteng atau pada rumah-rumah bangsa Eskimo. Bahkan ada macam bangunan yang hanya terdiri dari unsur lantai, panggung terbuka misalnya. Tentu saja panggung sudah sulit disebut rumah, tetapi tetap tergolong bangunan, yang melayani aktivitas manusia peri hal ruang.
Dari kelima unsur pertama tadi, biasanya unsur *ataplah yang paling penting*. Setidaknya yang paling memberi akibat pada keseluruhan pembentukan bangunan. Biasanya juga yang paling sulit dikerjakan dan paling mengemban tugas perlindungan kepada penghuni. Terutama di daerah tropika panas lagi lembab serba hujan di daerah tanah air kita. Oleh karena itu dalam praktek sebaiknya kita mulai dulu memikirkan unsur atap. Baru unsur-unsur lain yang relatip tidak begitu sulit. Dari sudut kegunaan memang lebih baik kita punya atap dulu, biar belum punya dinding-dinding daripada sebaliknya: semua sudah komplit tetapi belum beratap. Kesalahan semacam yang akhir biasanya dibuat penduduk karena pengaruh cara pembangunan a la Barat. Karena kekurangan biaya maka banyak pembangunan rakyat terhenti setahun dua tahun. Baru dibangun atap. Cara itu sebetulnya adalah impor cara asing dalam membangun rumah,

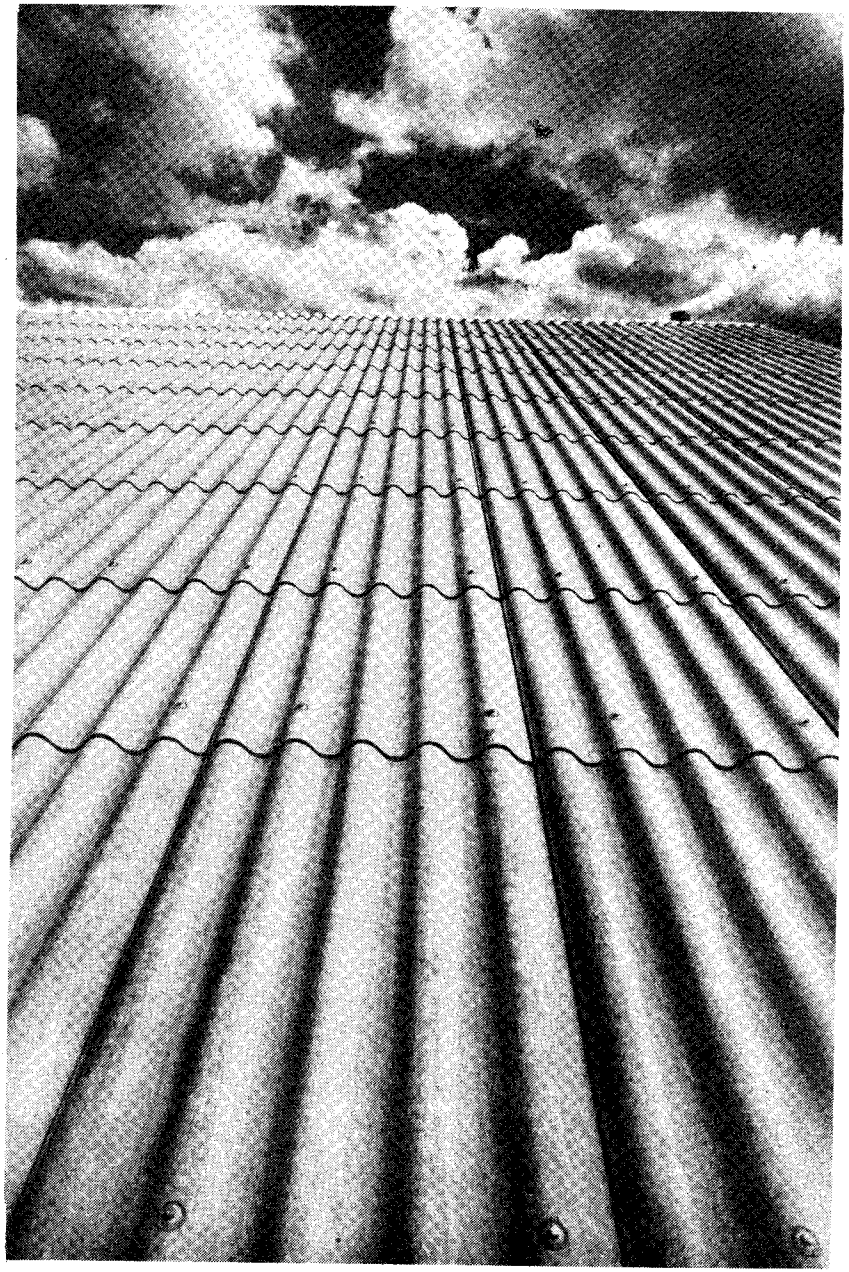
yang punya pertimbangan-pertimbangan lain dan karena itu belum tentu cocok. Nenek moyang kita selalu pertama-tama membangun atap dahulu, dengan segala kebutuhan konstruksinya. Biar lantai atau dinding-dinding beserta kebutuhan sendi-sendinya belum bisa dibangun karena biaya terbatas, tetapi atap sudah ada dan bagaikan payung besar ia sudah dapat berguna selama bertahun-tahun; sampai orang mampu membangun dinding-dinding. Itupun jika masih diperlukan.

Kita membangun dalam iklim panas tropika dan lembab basah. Atas dasar pertimbangan itu, atap selalu harus kita dahulukan, karena perlindungan pertama yang kita butuhkan ialah dari arah atap, dari panas serta kesilauan matahari dan dari kebasahan serta hempasan hujan.

Perlindungan terhadap yang datang dari samping jatuh pada nomor dua. Itulah kebijaksanaan membangun yang diwariskan oleh nenek moyang kita, yang pantas kita catat dan kita jadikan pedoman yang tak pernah akan usang.

Keterangan lebih terperinci mengenai *PANCASARANA* dapat anda pelajari pada pasal-pasal berikut.





Gambar No. 131.

11.0 **Umum**

Dari segi fisika-bangunan, tugas utama atap adalah tugas payung, yakni pelindung terhadap:

matahari: – panasnya dan
– kesilauannya.

hujan: – kebasahan/kelembabannya
– hempasannya.

Itu dilihat dari faktor-faktor pengaruh dari luar.

Dilihat dari pihak ruangan dalam, atap berfungsi sama dengan dinding (selaku sisi atas) dan karenanya harus bisa memenuhi syarat-syarat dinding juga, kendati punya kekhususannya sendiri (lihat Pasal 15).

11.1 **Atap sebagai pelindung**

a. Fungsi selaku *perisai* yang menangkis *radiasi* panas dari matahari. Dari sebab itu atap sendiri janganlah mudah menjadi sumber radiasi panas yang meneruskan lagi sebagian besar radiasi panas yang diterimanya dari matahari ke dalam ruang yang harus ia lindungi. Itu sangat berhubungan dengan sifat *daya penghantaran panas* dari bahan atap yang dipakai. Atap besi seng misalnya yang ditir hitam di atasnya atau beton tipis sangat mudah menyerap dan mengalirkan panas. Sedangkan sirap kayu atau atap alang-alang relatip tidak mudah menyerap dan menghantarkan panas, walaupun sirap ulin berwarna hampir segelap tir seng.

Selain itu masalah *konveksi* udara di atas maupun di bawah penutup atap sangat perlu diperhatikan. Diusahakan agar selalu terdapat arus udara yang mengusir udara yang telah menjadi panas karena penyentuhan dengan penutup atap; dan diganti dengan udara dingin. Demikian konveksi udara di dalam hubungannya dengan penutup atap membantu fungsi perisai yang ditugaskan pada atap.

b. Selain terhadap matahari, atap berfungsi besar sebagai pelindung terhadap pencurahan hujan.

Hujan membawa *kebasahan* yang berguna bagus untuk sawah-ladang, tetapi untuk kediaman rumah jelas mengganggu.

Selain faktor kebasahannya, hujan yang jatuh dari langit tropika di sini sangat lebat dan keras, sehingga *daya mekanis penghempasan* air bisa merusak banyak. Maka atap berfungsi sebagai perisai juga terhadap segala itu.

Oleh karena itu, biarpun banyaklah macam atap, setiap atap yang berfungsi baik di daerah tropika lembab seperti di tanah air kita harus memenuhi syarat-syarat tersebut. Itu antara lain berarti, bahwa atap di daerah kita harus punya sistim pokok di bawah ini, yang terdiri dari ketiga fungsi tersebut:

1) Pertama: *menangkis* sebanyak mungkin radiasi matahari.
2) Yang kedua, menjamin *kerapatan terhadap hujan dan kelembaban*, dan
3) yang ketiga: menahan *hempasan hujan*

Ketiga fungsi itu dapat dipersatukan di dalam satu lapisan penutup atap. Misalnya pelat-pelat aluminium yang selain kuat, dapat dikatakan 100% kerapatannya terhadap air hujan. Bagaikan cermin ia sangat banyak juga memantulkan kembali panas radiasi matahari. Begitu banyak yang dipantulkan sehingga cukup menjamin kesejukkan di bawahnya, walaupun aluminium itu sendiri merupakan bahan penghantar panas yang baik. Tetapi aluminium masih sangat mahal. Selain itu bagi orang yang berdiri di luar, kilauan penutup atap aluminium sangat menyakitkan mata. Kecuali apabila ia hanya dipakai sebagai atap yang sangat datar, sehingga tidak kelihatan dari bawah. Fungsi perisai panas dan fungsi perisai hujan, dapat dikerjakan oleh satu unsur lapisan penutup atap. Tetapi mengingat proses pemanasan dan pelembaban yang cukup rumit, seyogyanya kedua fungsi itu dipisahkan satu dari yang lain, meskipun nantinya keduanya berpadu dalam satu keseluruhan yang di sebut global: *atap*.

11.2 Atap panas

Atap sebenarnya tidak lain dari pada pembatas atau dinding ruangan di sisi atas. Oleh karena itu, dalam beberapa perkara, ia mengandung masalah-masalah juga seperti dinding , yang menjadi pemisah antara ruangan dalam yang dianggap hangat dengan ruangan-luar yang dianggap dingin atau sebaliknya. Dari pasal 2,6, dan 7 kita sudah tahu, bahwa soal perbedaan suhu antara luar-dan-dalam beserta akibatnya pada kadar uap-air di luar-dan-dalam, timbulnya air kondensasi beserta masalah pernafasan dinding harus mendapat perhatian khusus. Soal-soal tersebut menimbulkan empat kemungkinan jenis atap (seperti dinding juga):

= atap yang masih dapat bernafas
= atap berongga
= atap berbahan kedap-air
= atap yang diselaputi bahan kedap-air.

Tetapi seumumnya orang membagi atap dalam dua jenis saja yang sudah mencakup keempat macam tersebut:

1 = atap panas.
2 = atap dingin.

a. Prinsip atap panas dapat dilihat pada *gambar 132, 133*.

Gambar No. 132
Susunan atap-panas yang normal
1. Kulit atap yang sering dilindungi oleh batu-batu kerikil
2. Isolasi kalor
3. Isolasi penahan uap-air
4. Konstruksi pendukung
5. Penyerap kelembaban

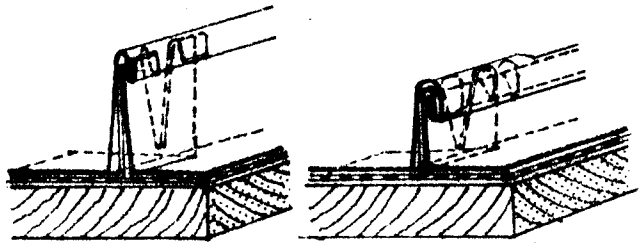
Gambar No. 133
Atap panas yang diventilasi untuk mengeluapkan air kondensasi di dalamnya.

Ciri-cirinya: Terdiri dari beberapa lapisan yang dapat terbuat dari pelbagai macam bahan, namun saling melekat langsung. Dan yang secara prinsip selalu memiliki fungsi:

1) kulit luar
2) isolasi kalor
3) isolasi penahan uap-air/air.
4) konstruksi pendukung
5) lapisan dalam penyerap kelembaban

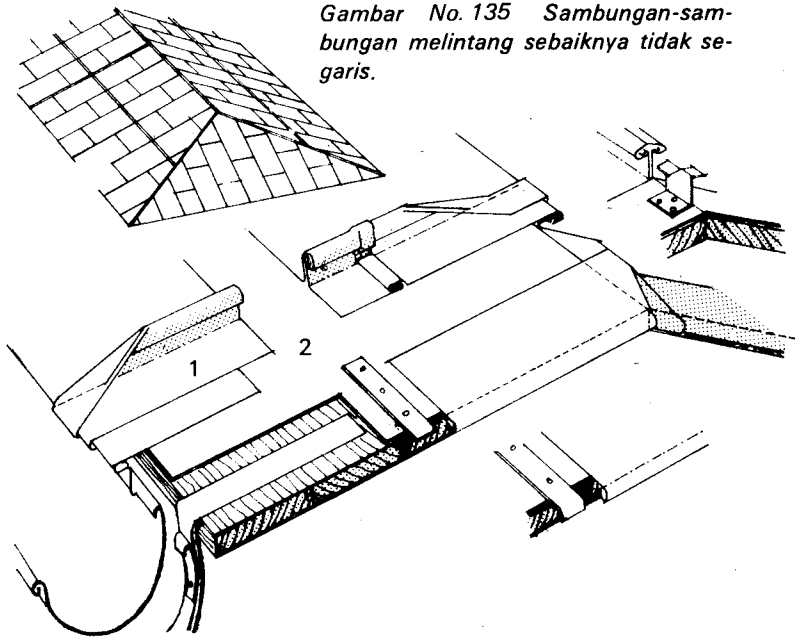
Yang menjadi kekhususan jenis atap ini ialah: lapisan-lapisan majemuk di sini merupakan satu kesatuan massa yang melekat satu sama lain. Dengan begitu unsur atap itulah satu-satunya bidang-pembatas antara ruang dalam dan ruang-luar.

Dalam jenis ini tergolong atap-beton atau atap-papan-berlapiskan-seng dan sebagainya. Terutama dalam berkonstruksi dengan atap-beton, permasalahan fisika-bangunan atap panas ini menjadi penting. (*lihat gambar 132 ,133,138*)

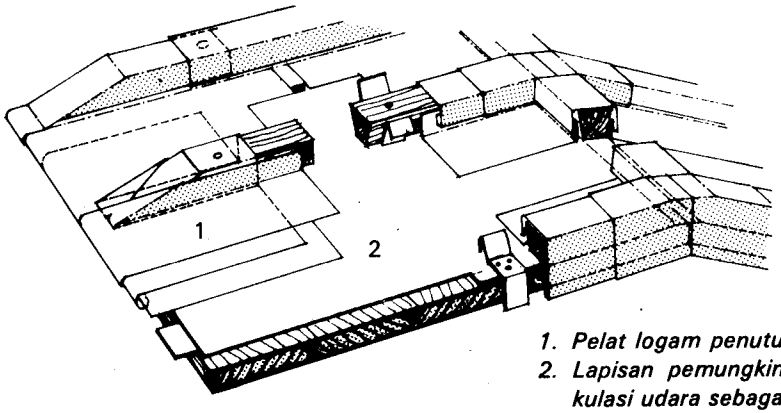


Gambar No. 134: Sambungan mujur penutup atap logam

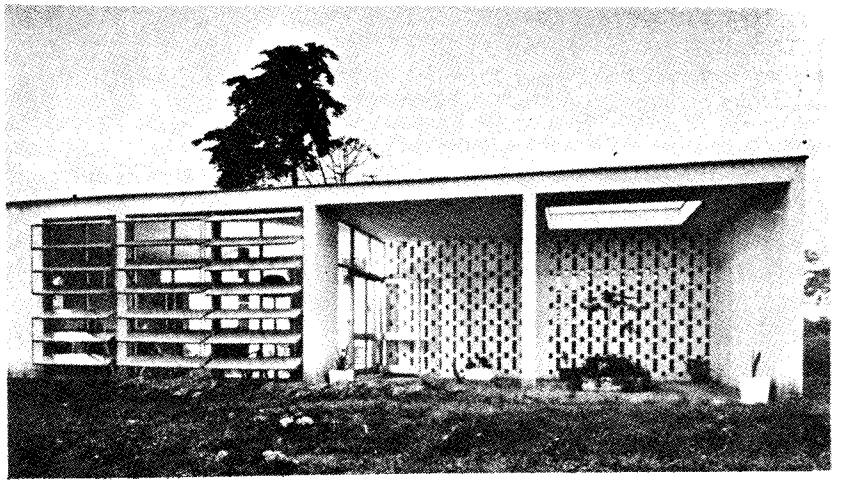
Gambar No. 135 Sambungan-sambungan melintang sebaiknya tidak segaris.



Gambar No. 136 Perhatikan cara konstruksi dan pelipatan sambungan-sambungan pelat-pelat logam penutup atap ini, yang harus menjamin atap yang kedap air. Perlu diperhatikan pada konstruksi seperti ini, bahwa antara papan-papan pendukung dan pelat penutup atap selalu timbul air kondensasi pada dini hari. Dari sebab itu papan-papan harus terlindung benar terhadap kelembaban dengan ditir dan papan-papan harus bisa "bernapas". Artinya: hawa udara di antara pelat logam dan papan harus berputar/mengalir.



1. *Pelat logam penutup atap*
2. *Lapisan pemungkinan sirkulasi udara sebagai penghindar dari kondensasi.*



Gambar No. 137

Gambar No. 138

Contoh rumah di Kumasi College (Ghana) yang cocog sekali untuk daerah-daerah kita yang panas kering. Atap terbuat dari beton bertulang dengan lapisan bahan aspal yang berkwalitas baik. Air hujan ditampung dari atap dan disimpan dalam suatu tangki di dalam rumah. Jalusi (louvres) dan dinding-dinding kerawang menjamin ventilasi yang segar. Jendela dan lubang-lubang rumah ditutup dengan kasa halus dari kuningan/tembaga di sebelah dalam.

b. Tiga soal disini timbul:

1) Kerapatan kekedapan uap-air dari bawah (ruang dalam).
2) Soal air kondensasi yang "berkeringat" di dalam bahan-bahan majemuk atap itu sendiri.
3) Selain itu masih bisa ditambah soal satu lagi, yakni soal isolasi panas atau dingin, terutama dalam bangunan-bangunan yang didirikan dalam daerah pegunungan dingin, ruang-ruang pabrik yang panas, dan sebagainya.

Keterangan-keterangan tentang: 11.2.a

a1) *Kulit kedap air*

Tak sulit dipahami, bahwa kulit ini tentulah saja harus diletakkan sebagai lapisan penutup paling atas. Demi penghalang masuknya air ke dalam.

a2) *Isolasi Kalor*

Di sini harus diperhatikan dulu, sisi mana dari ruangan yang bersangkutan adalah pihak ruang yang relatip lebih panas. Di luar atau di dalam.

Suatu pelat beton yang panjang sekali 10 M. bisa mengembang/mengeriput sampai sejauh 10 mm, bila ia terkena oleh sinar panas sehingga dapat mencapai suhu 70°C dan terkena kedinginan sampai – 10°C. Dan seandainya pun selisih antara suhu panas dan dingin tidaklah semaksimal itu, bahan atap tetap mengembang-mengeriput bila dipanasi atau didinginkan. Jadi sebaiknyalah isolasi panas itu dipasang di pihak ruangan (dalam atau luar) yang relatip lebih panas, selaku semacam mantel pelindung.

Dari sebab itu, untuk ruangan-ruangan kediaman biasa yang membutuhkan ruang-dalam sejuk yang terlindung terhadap penyinaran panas dari luar (atas) isolasi itu akan dipasang di sisi atas, langsung di bawah kulit kedap-air.

Biasanya isolasi-khusus itu tidak perlu dipasang, karena tebal beton (atau papan-papan kayu cukup tebal, 3 cm misalnya) sudah cukup berfungsi sebagai pelindung terhadap pemanasan. Akan tetapi belum tentu begitu.

Dan lagi, bahan beton di daerah tropika panas hampir selalu akan retak, betapa pun bagus dan teliti orang menuangnya dulu. Dan keretakan yang kecil selama bertahun-tahun akan menjadi besar dan banyak. Jadi sebaiknya pelat-beton yang dipakai sebagai atap diberi lapisan isolasi kalor.

a3) *Isolasi terhadap kelembaban air kondensasi*

Soal kedua dan yang sangat sering menjadi gawat untuk daerah tropika lembab ialah gejala kondensasi (lihat Pasal 2,7). Kondensasi dapat datang dari uap-air yang berasal dari ruang-dalam atau dapat juga dari kelembaban di dalam bahan atap itu sendiri.

Di mana akan diletakkan penghalang terhadap arus uap-air itu?

Bila lapisan isolasi kedap-air itu (misalnya kertas-aspal, foli aluminium, seng dan sebagainya) dipasang di sisi bawah, maka konstruksi beton (atau kayu) terkurung rapat oleh lapisan isolasi kedap-air dan kulit-atap atas yang kedap-air juga. Artinya, segala air yang pernah dan akan berkondensasi di dalam bahan, tidak bisa keluar lagi dan semakin hari semakin basah, kenyang dengan akibat-akibat perusakan yang besar.

Bila isolasi-uap-air itu diletakkan langsung di bawah kulit-atap (yang kedap air juga), maka pastilah diselah-selah (betapa pun kecilnya) antara isolasi ini dengan kulit-atap akan timbul air-kondensi juga yang tidak bisa keluar. Jadi keliru.

Bila isolasi uap-air itu diletakkan di antara konstruksi (beton/papan kayu) dan isolasi-panas (yang sering berbentuk serabut atau bahan lain yang banyak berpori), maka di situpun akan timbul air-kondensasi yang sukar keluar.

Dari sebab itu kita dapat menarik beberapa kesimpulan:

1.) Kulit-atap paling luar (atas) sebaiknya jangan kedap-air mutlak. Harus merupakan bahan, yang rapat-air, namun yang masih memungkinkan penguapan secara difusi keluar (lihat Pasal tentang difusi 2,7).
2.) Isolasi-uap-air sebaiknya dipasang di bawah lapisan isolasi panas.
3.) Isolasi panas harus memungkinkan difusi penguapan air kondensasi juga.
4.) Isolasi uap-air harus rapat juga, namun tidak juga teramat kedap-air, sehingga tidak memungkinkan difusi dari air kondensasi yang timbul, antara lain di bidang persentuhan lapisan isolasi ini dengan konstruksi beton.

a4) Konstruksi beton/papan-kayu dipasang di bawah lapisan isolasi-uap-air.

Di sisi bawah konstruksi beton sebaiknya dilapisi plester yang cukup berpori, sehingga sebagian besar dari air kondensasi masih bisa diresap dan disimpan di plesteran untuk sementara, sehinga bisa diuapkan kembali nanti pada kesempatan ruangan tidak dipakai.

a5) Yang paling bagus ialah, apabila lapisan isolasi panas (yang biasanya relatip tebal) mempunyai saluran-saluran udara, yang memungkinkan penguapan air-kondensasi yang timbul di dalam bahan. *(lihat gambar 136b)*

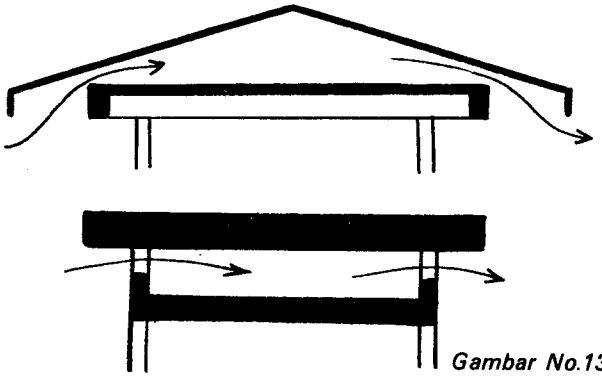
Saluran-saluran ini dalam pemsangan atap harus dijaga agar jangan tersumbat dan harus kontinyu perlubangannya, sehingga arus penguapan terjamin. Dan sebaiknyalah, bila atap tidak rata sekali tetapi miring, sehingga arus uap dapat lebih mudah mengalir.

11.3 **Atap dingin**

a. Dari persoalan atap-panas ternyata, bahwa penyaluran uap-air hasil kondensasi dalam bahan-atap merupakan salah suatu soal yang penting.

Oleh karena itu orang lalu mengambil prinsip atap-dingin, yakni bentuk atap yang terdiri dari dua lapisan yang terpisah oleh suatu bantalan atau rongga udara. Tidak selalu dapat dikatakan, bahwa atap dingin lebih baik dari atap-panas. Itu tergantung dari kebutuhan-kebutuhan kongkrit setempat. Tetapi memanglah, bila tidak ada pertimbangan-pertimbangan khusus yang harus ikut diperhatikan, prinsip atap-dingin lebih mudah dan lebih aman dalam usaha mengatasi masalah air-kondensasi ini.

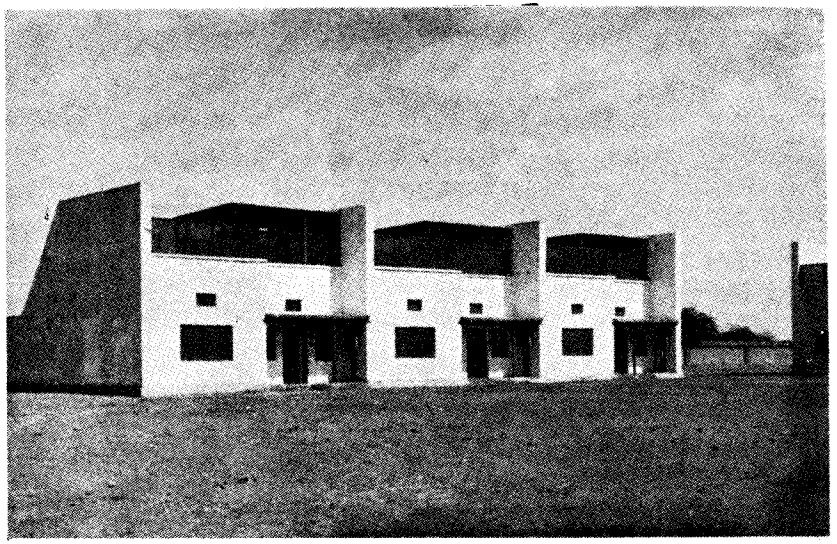
b. Prinsip konstruksi atap-dingin dapat anda lihat pada gambar 139a. Pelaksanaan prinsip tersebut bisa bermacam cara seperti apa yang tampak pada gambar-gambar 139b,140,141 dan sebagainya. Penting pada sistim ini ialah, bahwa ruangan antara dua lapisan atap itu harus bebas-hujan.



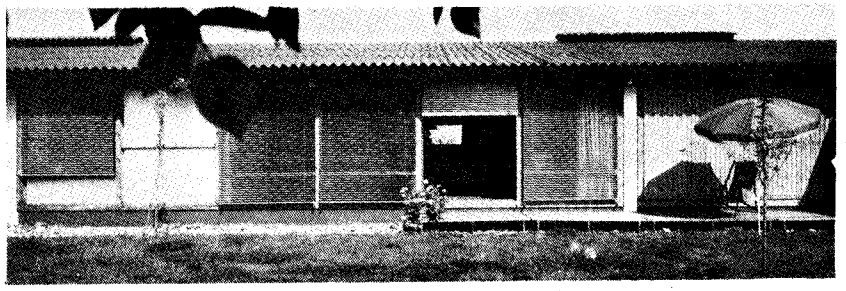
Gambar No.139a

Seumumnya konstruksi atap-konvensionil yang kita jumpai memakai sistim atap-dingin. Genting misalnya merupakan lapisan kulit-atap luar-atas, sedangkan langit-langit merupakan lapisan yang bawah.

Dari segi efisiensi ruangan, sebenarnya ruangan di bawah (sebetulnya di antara kuda-kuda) merupakan kerugian ruangan, karena tidak terpakai. Oleh karena itu sering konstruksi bersistim atap-panas, yang tidak membutuhkan ruangan antara yang percuma, dapat lebih ekonomis. Terutama pemakaian konstruksi langit-langit dari papan-kayu yang sekaligus merupakan isolasi-panas (bukan isolasi uap-air) dan yang langsung ditutup oleh kulit atap (seng, aluminium, bahan aspal dan sebagainya)



Gambar No. 139b Contoh rumah di Aden (Arab). Dinding-dinding sangat tebal. Atap di atas atap bertugas memberi bayangan pada saat senja sehingga di ruang tidur pendinginan dipercepat. Demikian udara sudah cukup sejuk pada saat orang ingin tidur.

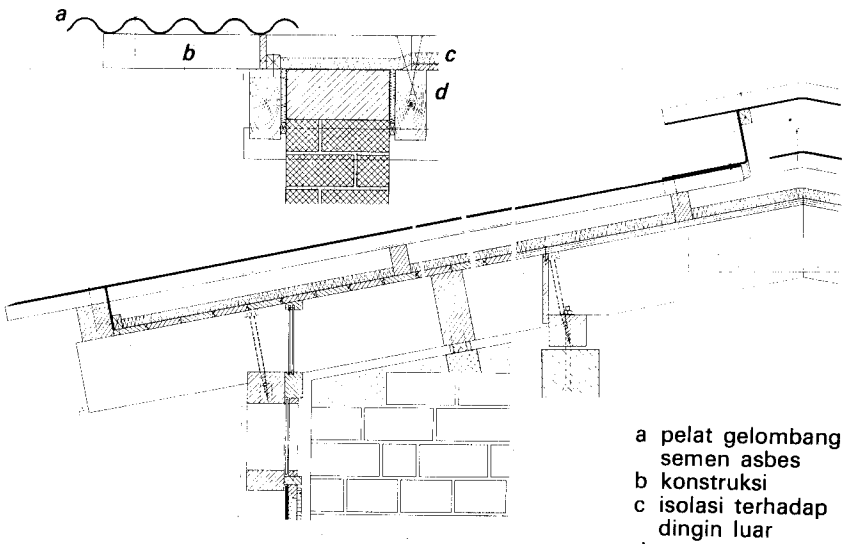


Gambar No. 140a Pemakaian penutup atap semen asbes yang tidak membutuhkan konstruksi berat.

bukanlah konstruksi yang buruk. Yang penting disini selalu adalah jaminan penguapan air kondensasi antara papan dan bahan seng dan sebagainya, yang lekas mendingin dan "berkeringat" di waktu malam. Kecuali itu harus dilihat, apakah bahan kayu cukup terlindung oleh aspal atau tir dari pemasukan kelembaban.

c. Keuntungan dari atap-panas ialah keamanannya terhadap penghuni tikus. Rongga dan saluran-saluran (yang cukup besar untuk tikus) dalam sistim atap dingin yang mengundang tikus memang tidak menguntungkan.

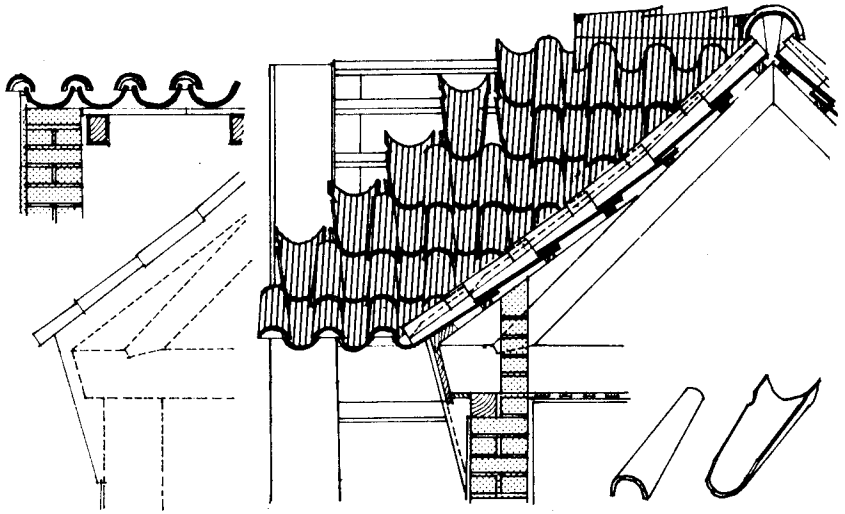
Gambar No. 140b Keuntungan dari penutup atap semen asbes antara lain ialah pemungkinan ventilasi air kondensasi di dalam atap (sistim atap dingin)



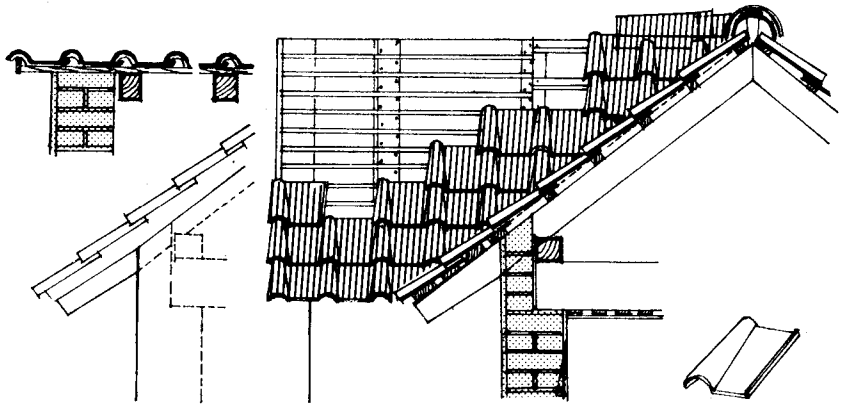
a pelat gelombang semen asbes
b konstruksi
c isolasi terhadap dingin luar
d penyerap kelembaban

Gambar No. 140c

Seumumnya susunan atap rumah-rumah kita yang konvensionil bersistim atap dingin. Lapisan atas, genting dan dibawahnya konstruksi pendukung langit-langit merupakan unsur penutup bagian bawah. Ventilasi dapat dari atas pelat tembok, blandar tritisan atau suatu lubang pada tembok samping.



Gambar No.141a Bentuk genting kuno yang bagus kuat dan berseni, yang masih dapat kita jumpai pada bebrapa gedung jaman kolonial.



Gambar No.141 b Bentuk genting yang banyak kita temukan di Bali, Jawa Timur, Boyolali dan sebagainya. Bentuk efisien karena tidak bisa oleng letaknya.

Dari pertimbangan kesulitan tikus, memanglah kita masih harus rajin mencari dan mencoba konstruksi-konstruksi sistim atap-panas yang tepat murah dan mudah pengerjaannya.

d. Dari pengertian-pengertian fisika-atap-bangunan di atas kita bisa menarik kesimpulan bahwa sebenarnya langit-langit bukanlah hanya penutup kuda-kuda belaka demi keindahan ruang. Namun punya fungsi yang bersatu dengan penutup-atap dan keseluruhan konstruksi. Ya, bahkan langit-langit dalam pengertian sistim atap-dingin masih tergolong atap, dan berfungsi sebagai unsur atap dalam soal-soal pengendalian kesejukan/panas ruangan dalam, penguapan uap-air, penyelesaian air-kondensasi dan sebagainya.

Maka sebaiknyalah pengertian atap kita perluas dan kita utuhkan demi perencanaan, pelaksanaan dan ekonomi pembangunan yang sebaik mungkin.

Demikianlah maka atap dalam pengertian kita yang lengkap terdiri dari tiga unsur utama (lihat gambar)

- penutup atap
- konstruksi pengemban penutup atap
- langit-langit.(lihat selanjutnya Pasal 11,2g)

11.4 **Bahan penutup atap**

a. Karena atap berfungsi perisai dan pelindung maka biasanya cukup luas. Bidang yang terlalu luas menimbulkan bermacam soal yang kompleks dan sulit diatasi. Oleh karena merupakan bidang seluas itulah, maka penutup atap dibuat dari unsur-unsur bidang kecil atau kepingan-kepingan yang:

- mudah dibuat dengan risiko yang minimum,
- mudah diangkut dari tempat pembuatan ke tempat pembangunan,
- mudah dipasang atau bila kebetulan rusak mudah diperbaharui oleh penggantinya.

Selain itu, tabiat fisika panas bidang luas yang mengalami pemuaian dan pengerutan menurut pasang-surut panas pada siang hari dan dingin pada malam hari, ikut menentukan konstruksi dan bentuk atap.

Semakin luas bidang, semakin berganda juga hasil keseluruhan akibat pemuaian dan pengerutan. Akibatnya berganda juga nanti persoalan teknis yang timbul. Oleh karena itu bidang luas dikeping-keping jadi unsur-unsur berbidang kecil, sehingga akibat pemuaian dan pengerutan dibagi rata. Maka kita mengenal penutup atap dalam bentuk unsur-unsur berbidang kecil, seperti *genting, sirap, pelat-pelat seng atau eternit, bongkokan ijuk atau ilalang dan sebagainya.*

b. Ada atap yang luas besar tanpa dikeping-kepingkan, misalnya tenda besar rumah sirkus atau atap beton-besi. Di situ pun persoalan pemuaian dan pengerutan tetap menjadi faktor besar dan harus diperhatikan serta diperhitungkan sungguh-sungguh. Pemuaian dan pengerutan bisa

merusak banyak pada unsur-unsur lain, menimbulkan keretakan atau bahkan kehancuran unsur.

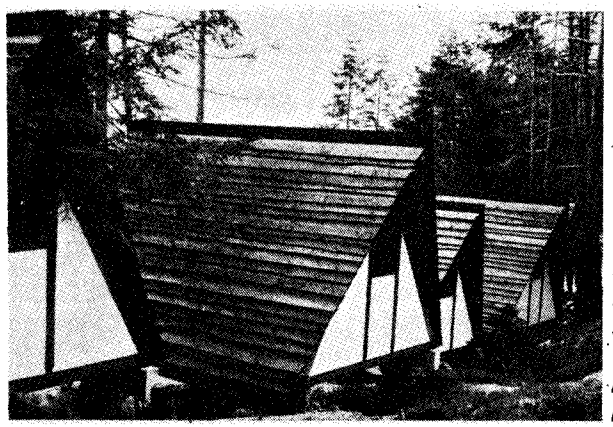
c. Genting, sirap, pelat-seng, pelat eternit, bongkokan ijuk, ilalang dan sebagainya merupakan yang disebut *penutup atap.*

Dan karena atap adalah bidang penutup pelindung ruang, wajarlah bila kita cari akal, agar ia *membentang bebas* sepanjang, selebar dan seluas mungkin. Semakin luas bentangan atap, semakin bebas pula dan mudah dapat kita atur ruangan yang di bawahnya.

Oleh karena itu penutup atap haruslah diberi pendukung di bawahnya, yang memadai beratnya, yakni KONSTRUKSI ATAP.

d. *Konstruksi atap* bisa dibuat dari pelbagai bahan maupun cara. Mana yang sebaiknya dipilih tergantung dari tuntutan penggunaannya. Tadi telah disingung, bahwa pada atap masih tergolong yang disebut langit-langit atau plafond. Bila penutup atap merupakan kulit luar dari atap di sisi atas, maka langit-langit merupakan kulit atap bagian dalam atau sisi bawah. Penggolongan langit-langit pada unsur atap sangat mempermudah perhitungan biaya nanti dan pengontrolan sistim atap mana (atap dalam arti keseluruhan total unsur penutup ruang seperti di atas) yang paling ekonomis. Demikianlah dipermudah juga perhitungan statika bangunan. Begitu daya berat yang dipikul unsur pendukung atau pemikul seperti kasau balok blandar dan sebagainya dihitung dari muatan total penutup atap tambah konstruksi atap tambah langit-langit.

e. Dari pembicaraan soal-soal fisikalis di atas, kita dapat menilai bermacam-macam bahan penutup atap yang tepat.



Gambar No.142 Contoh atap dari papan-papan kayu tahan air (misalnya kayu ulin dari Kalimantan). Konstruksi sederhana, bagus berfungsi dan berseni indah. Foto dari Wisma-Liburan para remaja di Spanyol.

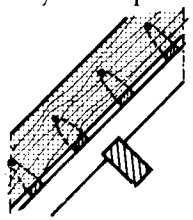
Sistim atap-panas dengan penutup-atap satu lapis maupun lapis majemuk, dapat berbahan alang-alang, ijuk, papan kayu, sirap tanpa langit-langit, papan-kayu tahan air (kayu ulin, jati tua dan sebagainya), asbes semen tanpa

langit-langit, seng/logam lain langsung pada papan-kayu, beton dan sebagainya. Yang terbaik (artinya yang paling memenuhi syarat-syarat fisikalis tersebut di atas) memanglah kayu-ulin atau kayu-tahan-air lain.

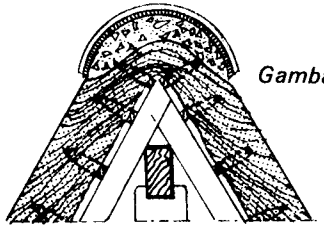
Dalam diri kayu sudah terkumpul sifat-sifat kemampuan rapat-air, memungkinkan difusi uap air, isolasi panas dan memiliki kekuatan fisik yang elastis. Dari sebab itu, dimana mungkin, di daerah-daerah luar-Jawa yang masih kaya akan kayu ulin dan kayu-kayu tahan-air lainnya, bahan yang tidak terkalahkan secara teknis, mudahnya penggarapan, harganya yang ekonomis dan rupanya yang estetis dan sebagainya adalah kayu. Pemakaian papan-papan kayu yang cukup tebal, baik berupa papan *(gambar 142)* atau pelat-pelat bagian papan yang lebih kecil sampai sirap sebagai lapisan tunggal tidak menimbulkan soal tikus dan hama-hama lain. Tetapi sekali lagi, bahan haruslah kayu yang benar-benar tahan-air.

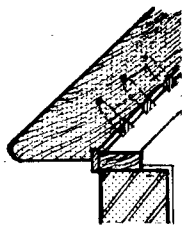
f. Bahan tradisionil *ijuk pun* memenuhi syarat-syarat fisikalis di atas. *(lihat gambar no.142)*. Namun karena penuh berongga, mudah mengundang cendawan dan lumut-lumut, lagi serangga dan hama lain yang tidak menyedapkan, bahkan sering berbahaya. Begitu pula ilalang. Selain itu, bahaya kebakaran cukup besar juga. Papan kayu yang tebal dapat terbakar juga, akan tetapi kerak arang yang tersusun pada tahap pertama pembakaran justru merupakan pelindung baik terhadap pembakaran lebih lanjut. Dan karenanya relatip lebih mudah diatasi.*(gambar 143)*

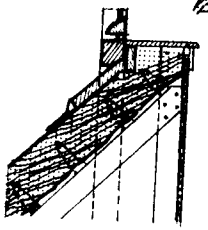
Gambar No.143a



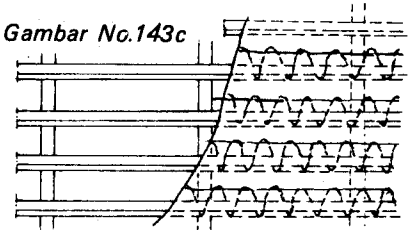
Gambar No.143d





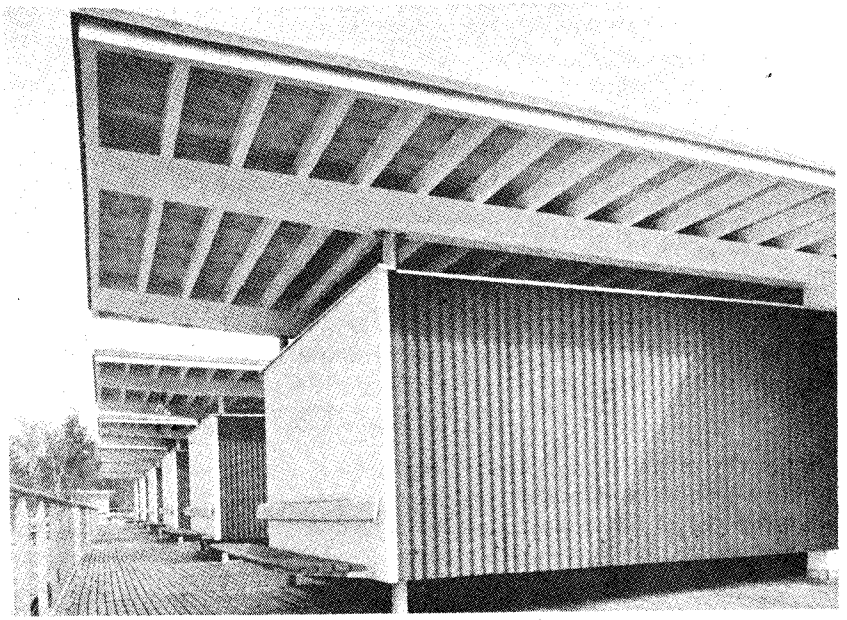


Gambar No.143c



Gambar No.143b

Bahan penutup atap ijuk dan ilalang masih banyak dipakai di tanah-air kita. Terutama saudara-saudara Bali sangat ahli dalam pembuatan atap semacam ini. Salah satu kerugian atap macam ini mudahnya itu terbakar. Tetapi sangat menarik ialah kenyataan, bahwa di desa praktis tidak pernah atau jarang sekali ada rumah terbakar. Ternyata bahwa bahaya kebakaran sangat erat hubungannya dengan kebudayaan penghuni.

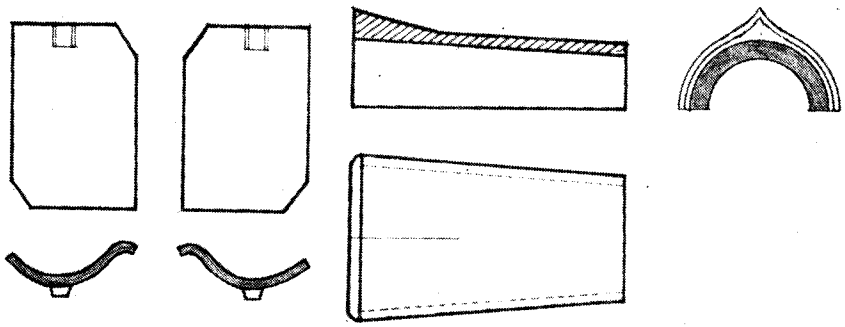


Gambar No. 144 Ruang-ruang berpakaian pemandian pantai di Zuerich Swis. Perhatikan cara konstruksi yang sederhana dan bersih. Dinding dan atap dari asbes dan kayu, bahan-bahan dalam negeri untuk Indonesia.

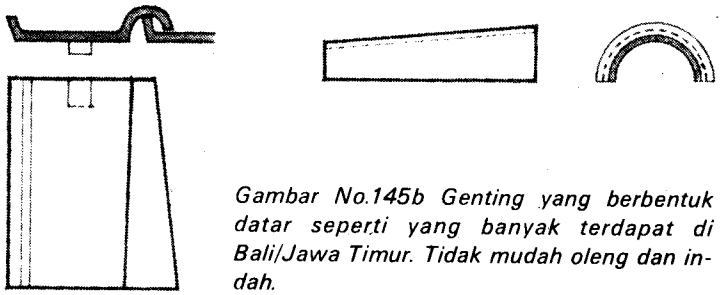
g. *Asbes-semen* cukup memenuhi syarat-syarat di atas *(lihat gambar 135, 140,144)* peri-hal kerapatan terhadap air dan pemungkinan difusi air dan uap-air. Hanya dari segi suhu, pelat-pelat asbes semen mudah menjadi panas dan sumber panas walaupun bahan asbes sangat menahan panas sehingga tanpa langit-langit penyinaran panasnya benar-benar mengganggu. Asbes semen di atas papan-papan kayu menghilangkan kesulitan tersebut. Hanya haruslah ditutup rapat-rapat pada tepi atap, sehingga tidak memungkinkan tikus-tikus memakai rongga-rongga di antara asbes semen dan papan. Asbes bergelombang dengan sendirinya memudahkan penyaluran uap-air untuk menguap dan mengarus keluar. Karena bahan semen dapat mencapai dingin yang dibawah suhu-kritis untuk kondensasi, maka air kondensasi pada sisi bawah asbes-semen relatip lebih besar dari pada misalnya genting keramik atau sirap. Tetapi semen asbes masih mampu menyerap air kondensasi itu secara baik, sehingga tidak menetes seperti seng, dan diuapkan lagi dalam waktu nisbi cepat.

h. Bahan *seng atau logam lain* seperti aluminium sangat mempermudah kondensasi di-sisi-bawahnya dan keringat seng cukup dikenal pada pagi hari, terutama pada musim kemarau.

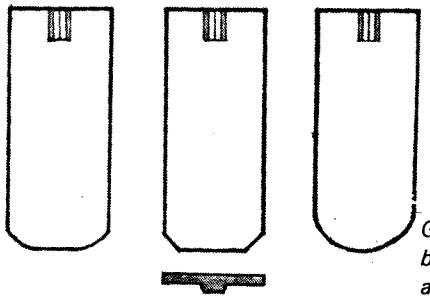
Oleh karena itu masalah kondensasi harus sangat diperhatikan, apabila kita mamakai bahan seng (atau aluminium) sebagai penutup atap (maupun dinding) *(lihat gambar no.137)*.



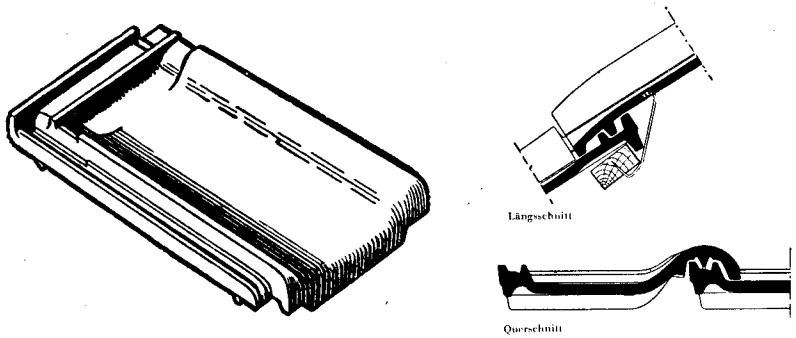
Gambar No.145a Genting Vlaams yang lazim terpakai. Berkat bentuk lengkungnya, kekuatan dirinya kuat dalam menghadapi pengembangan/pengeriputan bahan oleh panas-dingin hari dan malam. Akan tetapi mudah oleng dan air mengalir ke dalam, bila genting tidak dicetak bagus dan seragam.



Gambar No.145b Genting yang berbentuk datar seperti yang banyak terdapat di Bali/Jawa Timur. Tidak mudah oleng dan indah.



Gambar No. 145c Sirap dari keramik bisa dibuat juga tetapi hanya untuk atap bersudut terjal.

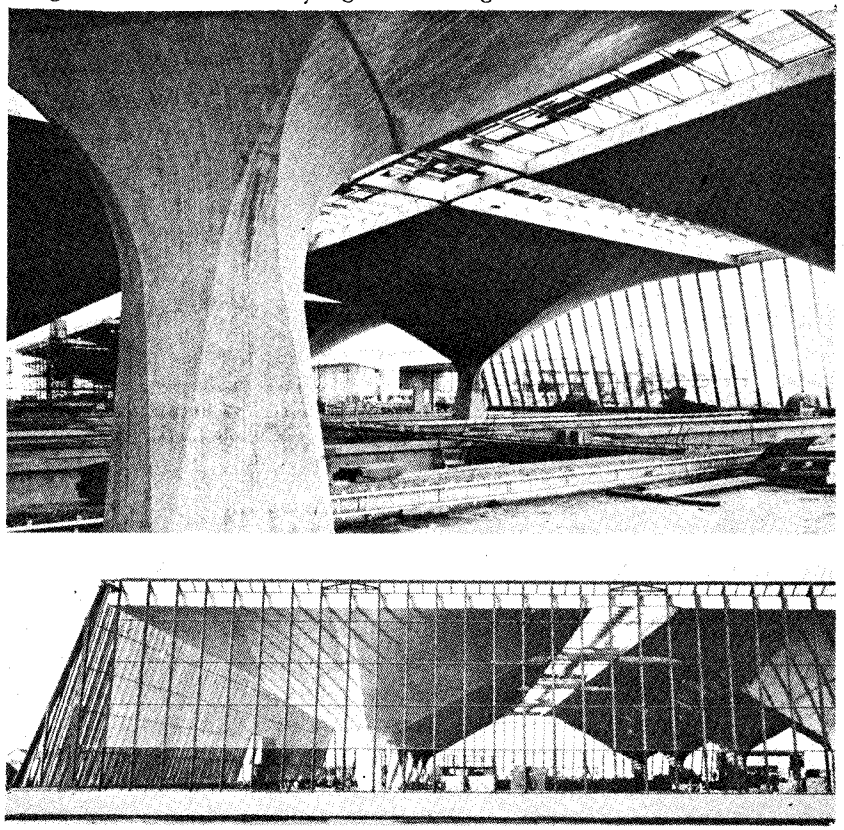


Gambar No.145d Sistim kanalisasi yang bagus pada garis-garis persambungan antar genting, yang menjamin kerapatan atap terhadap hujan dari segala arah, terdapat pada genting bermutu ini.

i. Bahan *genting* keramik sangat baik, karena rapat-air namun masih memungkinkan difusi uap-air di bawahnya *(lihat gambar 141,145)*. Selain itu cukup memperlambat penerusan panas ke dalam, karena bahan keramik menyerap panas banyak dan biasanya genting cukup tebal. Tetapi genting membutuhkan teknik pembuatan persis dan bagus seragam. Selain itu tidak boleh terlalu berpori. Bila tidak seragam benar, maka atap mudah dimasuki oleh air-hujan yang didorong oleh angin. Dari segi pembuatan dan pemasangannya, genting cukuplah mudah dan praktis. Tetapi seumumnya membutuhkan pendukung konstruktip yang kuat dan relatip mahal. Selain itu, untuk Jawa, bahan genting keramik yang membutuhkan kayu bakar sama sekali tidak menguntungkan, baik dari segi ekonomi nasional maupun pengaruh regional, karena mendorong orang untuk menggunduli pegunungan dan yang mengakibatkan banjir pada musim hujan. Seumumnya dan teristimewa untuk pulau Jawa, segala bahan bangunan yang membutuhkan bahan-bakar kayu untuk pembuatannya, dalam jangka panjang merugikan masyarakat dan sebaiknya diganti secara berangsur oleh bahan-bahan yang tidak membutuhkan bahan bakar. Bahan genting pada prinsipnya selalu terikat pada sistim atap-dingin. Jadi penutup atap dengan genting belaka tanpa langit-langit sebenarnya belum selesai, walaupun untuk rakyat yang kurang mampu atap sedemikian sudah cukup selaku penyelesaian darurat.

j. Bahan *beton* tuang masif selaku penutup-atap sebetulnya kurang menguntungkan untuk daerah tropika lembab. Selain tidak murah, beton di daerah tropika kita hampir semua akan retak. Pembuatan beton yang begitu bagus sehingga keretakan hampir tidak didapati akan mahal sekali. Dari segi prinsip fisikalis, beton barulah dipakai, bila cara lain sudah tidak bisa lagi dipakai. Jadi sebagai penyelesaian soal yang paling akhir.

Tetapi sering kita terpaksa harus memakai beton (bertulang tentunya) sebagai bahan penutup atap. Untuk pembuatan atap-beton haruslah kita memiliki tenaga-tenaga ahli dan tukang-tukang yang cermat serta serius dalam pekerjaannya. Bila tidak, sebaiknyalah kita jangan membuat atap beton *(gambar 146)*. Itu hanya pembuangan biaya dan energi belaka dengan hasil kekecewaan yang tidak mengenakkan.

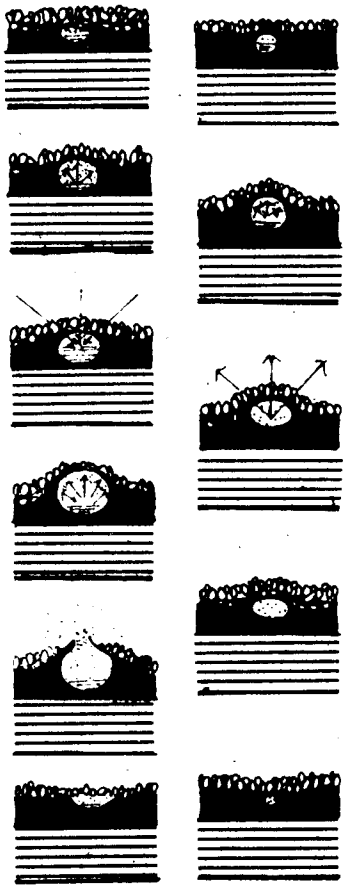


Gambar No. 146a Contoh konstruksi perpaduan atap tiang yang bagus, dengan pondasi-pondasi titik.
Foto dari Instalasi Air di negeri Belanda. Arsitek: W.G. Quist, Rotterdam.

k. Persoalan khusus pada atap beton perlu kita tinjau lebih lanjut, antara lain:
= *akibat perubahan suhu berupa pengembangan dan pengeriputan.*
Beberapa akibat pengembangan dan pengeriputan yang kritis dapat anda lihat pada:
1) Tempat-tempat pertemuan antara unsur beton dan unsur bahan lain.

2) Demikian juga pada tempat-tempat di dalam beton itu sendiri, antara bagian beton yang tipis (massa kecil) dengan yang tebal, (massa besar). Terutama atap-atap beton yang punya tepi atau frame yang jauh lebih tebal dari pelat-atap itu sendiri, tempat-tempat pertemuan itu sangat kritis. Pelat beton sepanjang 15 m, dapat bergerak 2 cm.

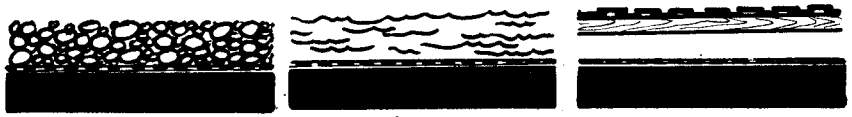
Dari sebab itu setiap keretakan kecil akan semakin menjadi besar selaku akibat gerakan setiap siang dan malam tropika itu, yang sering jauh bergoyang antara panas sekali dan dingin sekali. Seperti yang telah kita ketahui dari pasal 6, pemanasan bahan beton, mengambil jarak waktu lama. Pada beton setebal 10 cm misalnya, bagian bawah beton baru ikut panas sesudah 5 jam. Dan pada beton setebal 20 cm jarak-waktu itu kira-kira ada 6 jam. Dapat dicatat juga, bahwa semakin tebal beton, semakin kecil juga variasi suhu pada sisi bawah.



Gambar No.146b Penutupan atap dengan bahan aspal atau lapisan-lapisan kertas maupun serat yang beraspal sangat rapat dan bisa kedap air. Namun harus diingat gejala bahan ini bila terkena oleh panas matahari. Harus diusahakan, agar bahan aspal tetap sejuk dan plastis. Sering orang membersihkan lapisan kerikil di atas lapisan aspal, agar tampak "bersih" dari rumput atau lumut dan begitu tampak indah. Akan tetapi sebenarnya rumput dan lumut pada lapisan kerikil di atas aspal justru sangat berguna demi penyejukan dan plastisitas aspal di bawahnya. Lebih baik lagi ialah, bila di atas aspal kita beri lapisan tanah dan ditanami dengan rumput hiasan.
Selama bahan aspal ini tidak menjadi keras, dan tetap lunak plastis, bahan tidak akan bocor. Oleh karena itu lapisan aspal selalu harus dilindungi lapisan kerikil.

l. Dalam alam tropika-basah, yang tidak mengenal selisih besar antara suhu siang dan malam seperti di daerah tropika kering, massa beton itu menjadi kurang menentukan. Tetapi bila pelat-beton langsung terkena panas matahari, maka perbedaan suhu panas dan dingin masih bisa sangat besar. Oleh karena itu seharusnyalah, pelat beton itu dilindungi oleh sesuatu, agar jangan menjadi panas. Itu dapat dicapai dengan beberapa jalan:

1) dengan *pengecatan permukaan* atasnya dengan cat putih, atau dikapur putih.
2) dilindungi oleh suatu *lapisan tebal krikil (gambar 147c).*
3) dilindungi oleh suatu *lapisan air (gambar 147d).*
4) *dipayungi* oleh satu bidang atap lagi (sistim atap-dingin) *lihat gambar 146 d, 139).*



Gambar No. 146 c *Gambar No. 146 d* *Gambar No. 146 e*

1. foli atau selaput kedap air
2. konstruksi beton

Pengecatan beton biasanya, kendatipun dengan tir/bitumen kurang memuaskan. Yang paling sederhana dan efisien hanyalah pengkapuran, yang tentulah harus diulang-ulang kembali setiap tahun.

Perlindungan dengan lapisan tebal kerikil banyak sekali dikerjakan dan merupakan teknik yang sederhana. Semakin tebal lapisan kerikil, semakin baik. Dan bila di antara kerikil banyak mengendap debu tanah dan tumbuhlah rumput hal itu sebenarnya menguntungkan. Banyak yang mengira bahwa kerikil harus bersih dari tumbuh-tumbuhan, akan tetapi selama itu bukan benih calon pohon besar dan hanya merupakan rerumputan belaka, hal itu justru baik, demi tetap rendahnya selisih perbedaan suhu dari beton. Lebih sempurna lagi ialah bila di atas atap beton benar-benar dibuat *taman sari. (lihat gambar 68 Pasal 6).* Dengan demikian kebutuhan fisika atap berpadu dengan segi keindahan.

Perlindungan dengan sarana lapisan air tentulah membutuhkan jaminan kedap-air. Tetapi sering dibutuhkan tambahan lapisan isolasi panas/dingin agar pelat beton tidak menjadi terlalu dingin dan menambah kondensasi.

m. *Pengkapuran atap beton*

Untuk memberi warna putih yang baik dan cukup awet, orang dapat memakai batu-kapur dengan warna putih benar-benar. Batu-kapur itu ditumpuk dalam jumlah yang kecil-kecil. Di atasnya diberi 10% berat

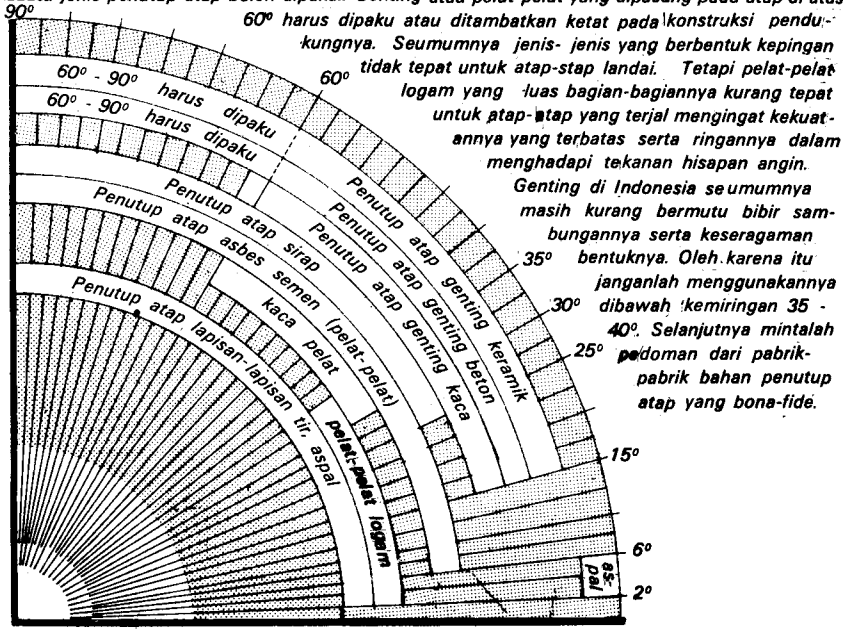
lemak (sisa-sisa lemak binatang yang tidak mudah mencair). Lalu diberi air sehingga kapur menjadi kawur. Berkat panas yang timbul, lemak itu meleleh dan tercampur dengan kapur. Bila proses pengkawuran sudah selesai, maka aduklah itu dengan air secukupnya dan menjadi jenang cair yang dilapiskan pada beton. Hanya lapisan yang sangat tipis yang dibutuhkan. Bahan-bahan perekat lain biasanya bahkan tidak baik bila dicampurkan. Bila lemak binatang sulit dicari bisa dicoba dengan parafin. Bahan campur lain untuk kapur yakni kotoran sapi. Tetapi karena kotoran sapi mutlak dibutuhkan untuk pupuk, bahan tersebut akan sangat sulit diperoleh.

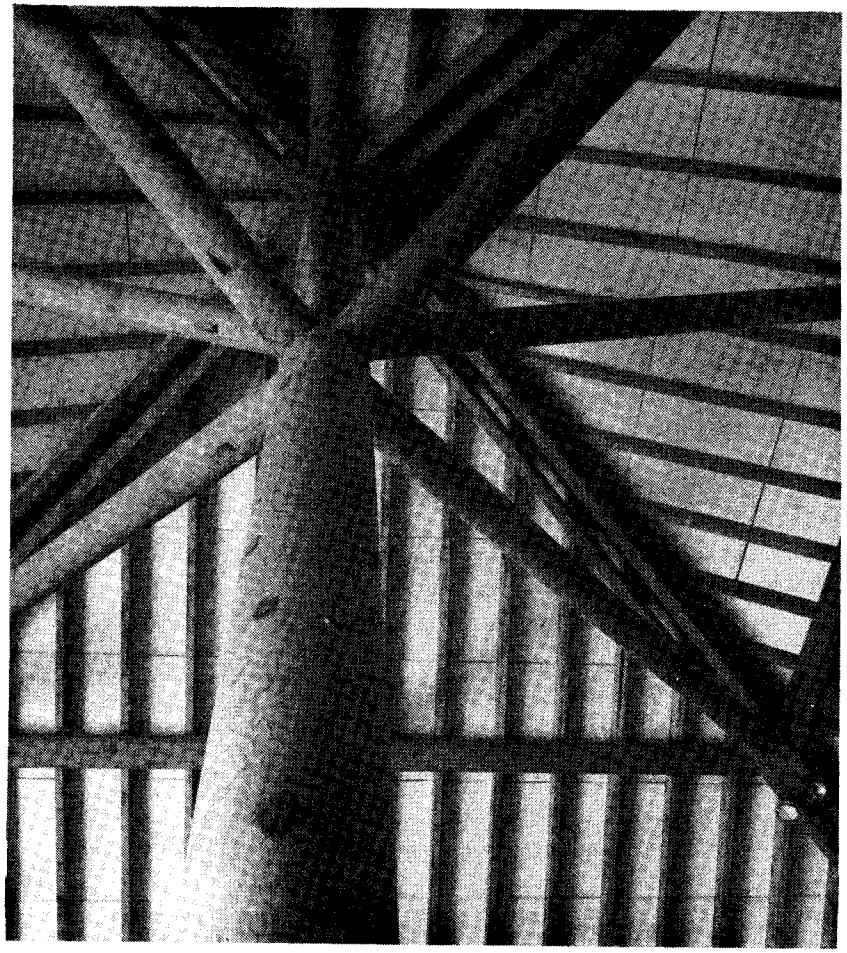
n. Penting sekali untuk atap-beton yang datar ialah kemiringannya yang harus menjamin lekas perginya setiap bagian air. Sering kerusakan justru disebabkan oleh bagian-bagian air yang masih tinggal di atas atap sesudah hujan turun. Air di atas jenis atap beton harus tetap tinggal di atas dengan kedalaman yang cukup atau harus pergi sama sekali.

11.5 **Kemiringan atap**

Selanjutnya, tentang kemiringan atap, lihatlah dalam *gambar 148* beserta keterangannya.

Gambar No. 147 Mengingat bentuk serta sifat bahan penutup atap, maka sebaiknya kita mengindahkan pedoman-pedoman yang umum berlaku, untuk daerah sudut kemiringan atap sesuatu jenis penutup atap boleh dipakai. Genting atau pelat-pelat yang dipasang pada atap di atas 60° harus dipaku atau ditambatkan ketat pada konstruksi pendukungnya. Seumumnya jenis- jenis yang berbentuk kepingan tidak tepat untuk atap-atap landai. Tetapi pelat-pelat logam yang luas bagian-bagiannya kurang tepat untuk atap-atap yang terjal mengingat kekuatannya yang terbatas serta ringannya dalam menghadapi tekanan hisapan angin. Genting di Indonesia seumumnya masih kurang bermutu bibir sambungannya serta keseragaman bentuknya. Oleh karena itu janganlah menggunakannya dibawah kemiringan 35 - 40°. Selanjutnya mintalah pedoman dari pabrik-pabrik bahan penutup atap yang bona-fide.





Gambar No. 148 Konstruksi mirip payung dari balok-balok bulat yang sederhana namun penuh rasa tanggung-jawab berkonstruksi dan rasa keindahan Jepang.

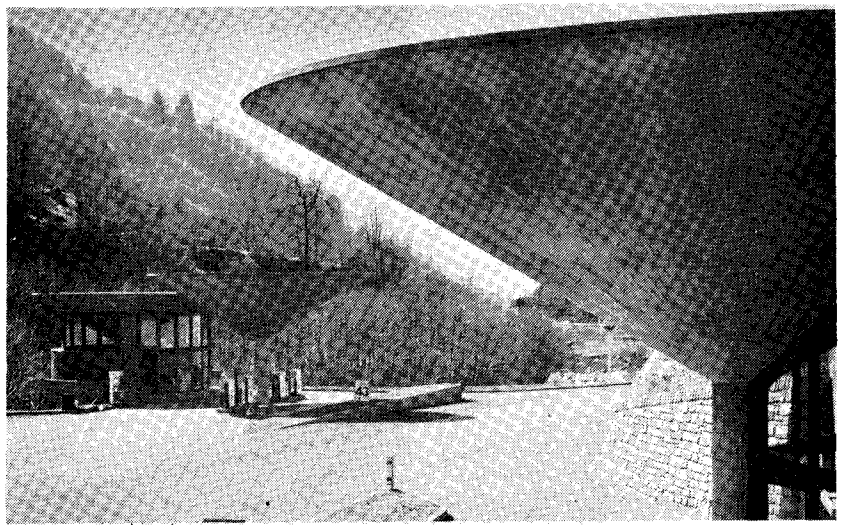
12.1 **Konstruksi peletakan secara titik, garis, dan bidang**

Keseluruhan atap dalam arti lengkap total tadi, *(lihat gambar pasal 11)* harus membentang di atas ruang. Dengan kata lain: harus dipikul oleh sesuatu, harus diletakkan di atas sesuatu *pemikul*.

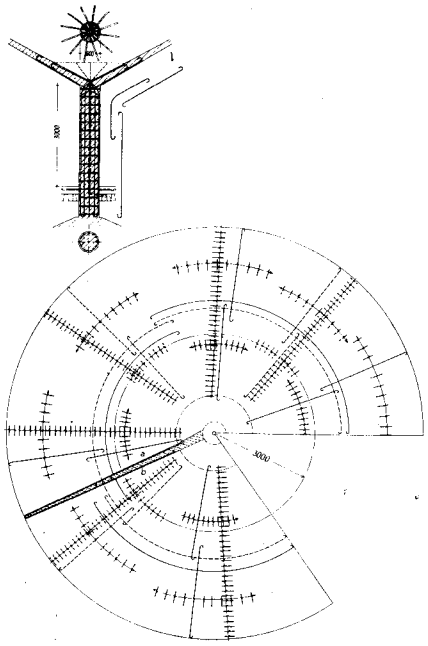
Peletakan beban atap pada pemikul ini bisa dengan tiga cara:

a. Cara peletakan di atas suatu *titik*. Atau lebih tepat pada bidang yang begitu kecil sehingga dianggap titik. *(gambar 149,150,151,152 dan seterusnya)*.
b. Cara peletakan di atas suatu *garis*. Atau lebih tepat pada bidang yang cukup sempit tetapi memanjang, sehingga dianggap garis *(gambar 153 dan sebagainya)*.
c. Cara peletakan pada *bidang* yang cukup lebar dan panjang sehingga tidak bisa dianggap titik atau garis *(gambar 154 b)*.

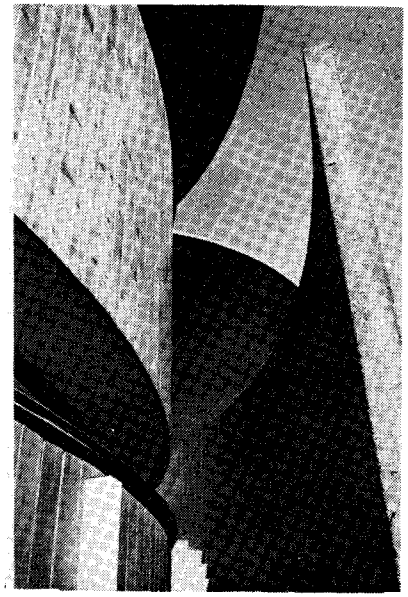
12.2



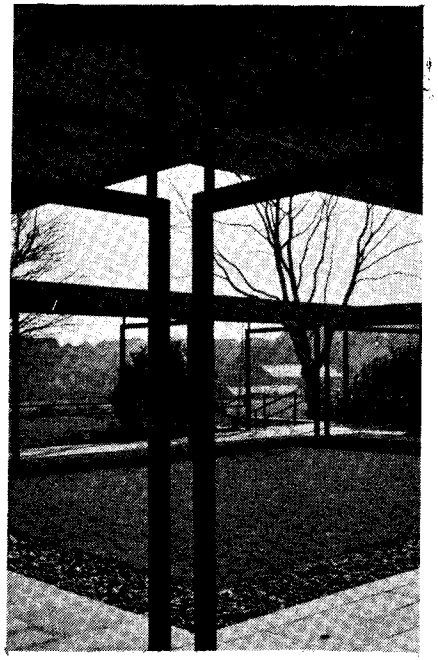
Gambar No. 149a-g Bangunan tangki bensin di Swiss. Bahan beton bertulang. Seluruh atap didukung pada satu titik. Arsitek Peppo Brivio.



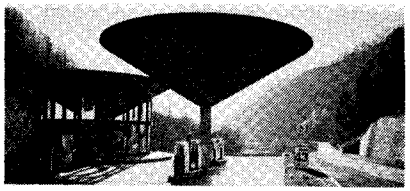
Gambar No.149b



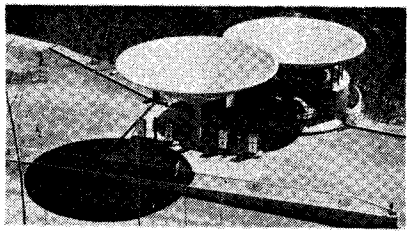
Gambar No.149c



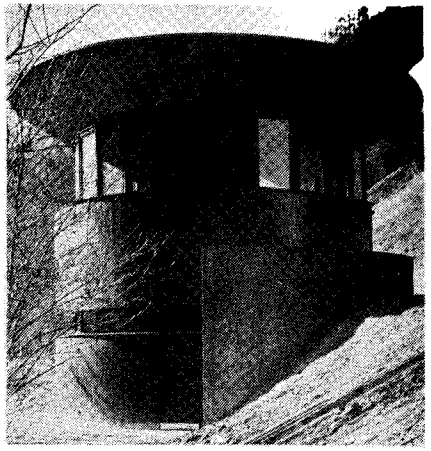
Gambar No.149d



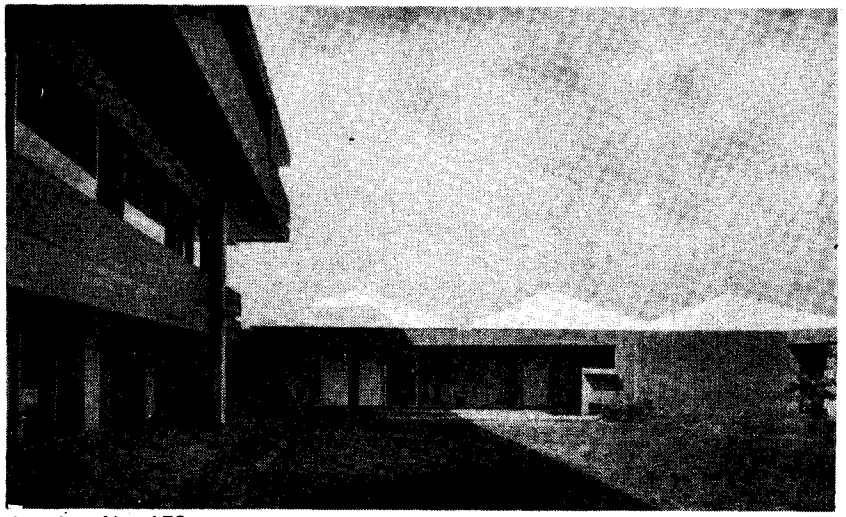
Gambar No.149e



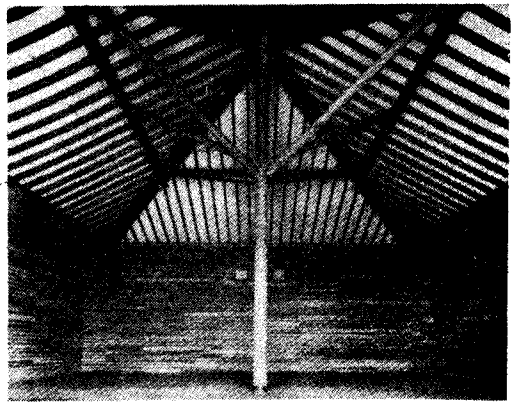
Gambar No.149f



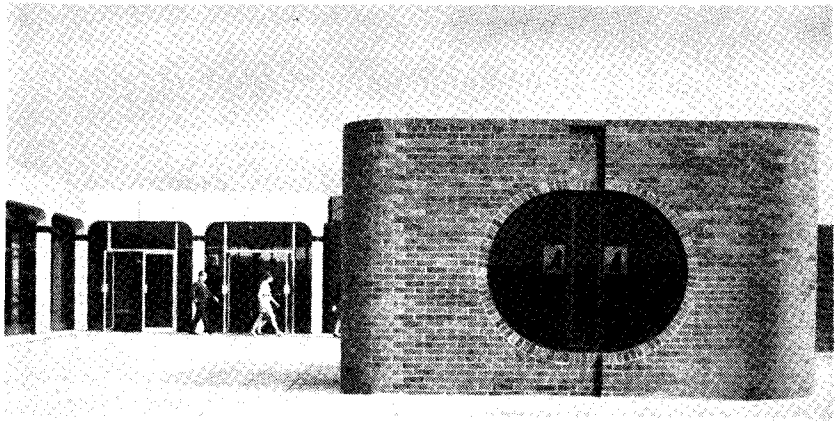
Gambar No.149g



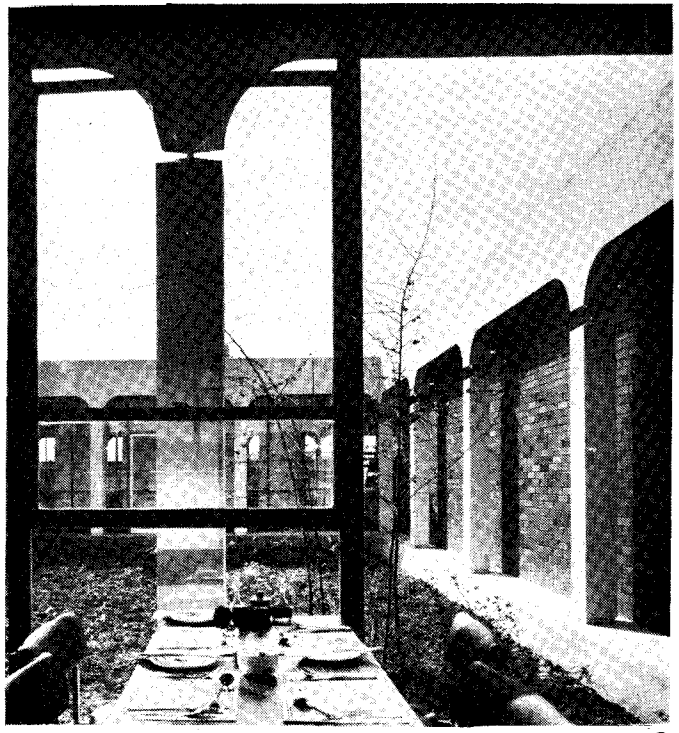
Gambar No. 150a



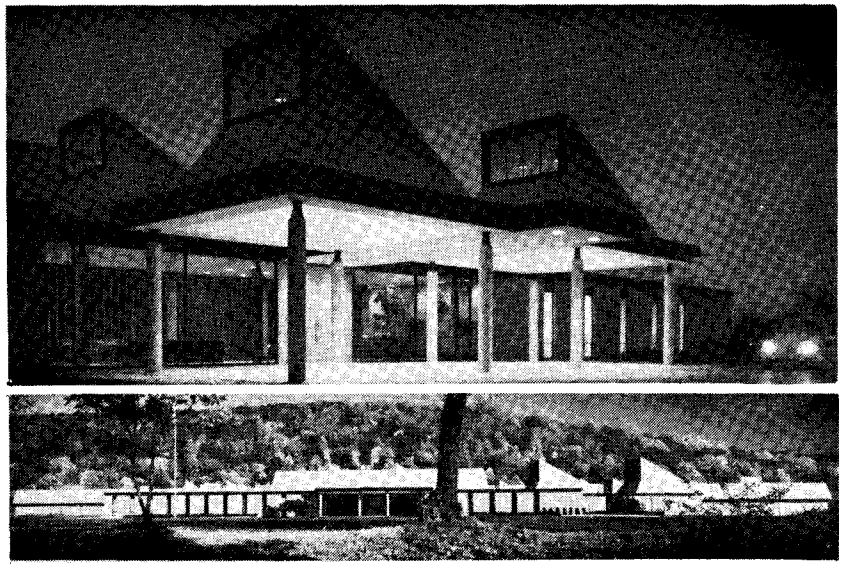
Gambar No.150b



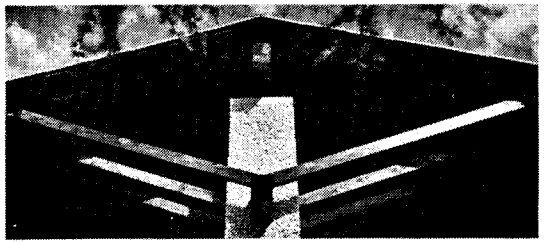
Gambar No.151a
Perhatikan cara persendian atap pada tiang yang unik tetapi betul. Kompleks stasiun mobil dan restoran dekat London.
Arsitek: Garnett, Cloughleg, Blakemore & Partner.



Gambar No.151b

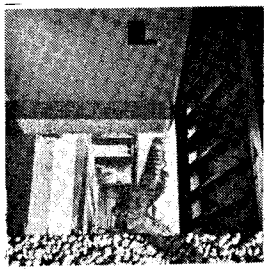


Gambar No.152 Bengkel mobil di New York. (Arsitek: Katz, Waismann, Weber dan Straub).
Bentuk mirip dengan pendopo Jawa, tetapi konstruksi terbalik: pada pendopo Jawa, titik engsel di bawah (pada sendi "umpak") sedangkan di sini justru di atas tiang dan tiang kaku dimatikan di atas tanah dasar.

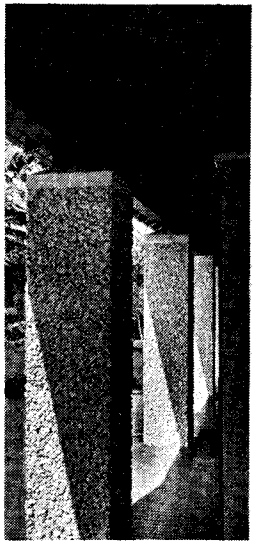


Gambar No.153a Pilar-pilar model kuno yang dimanfaatkan kembali dengan bahasa arsitektur modern.

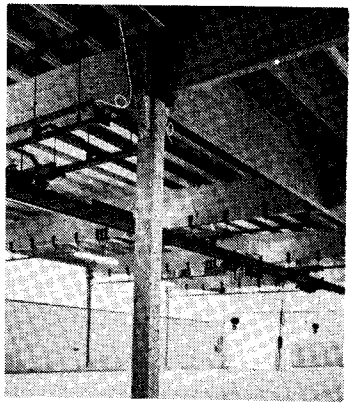
Gambar No.153b



Gambar No.153c

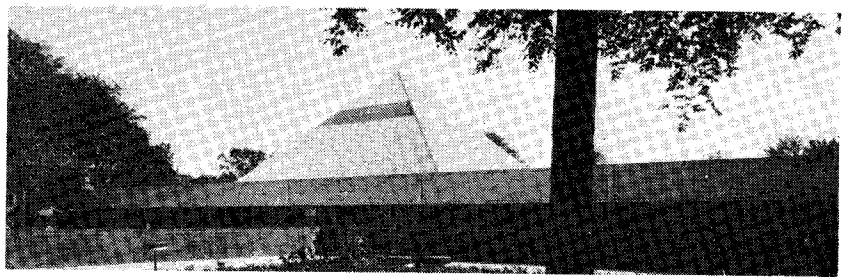


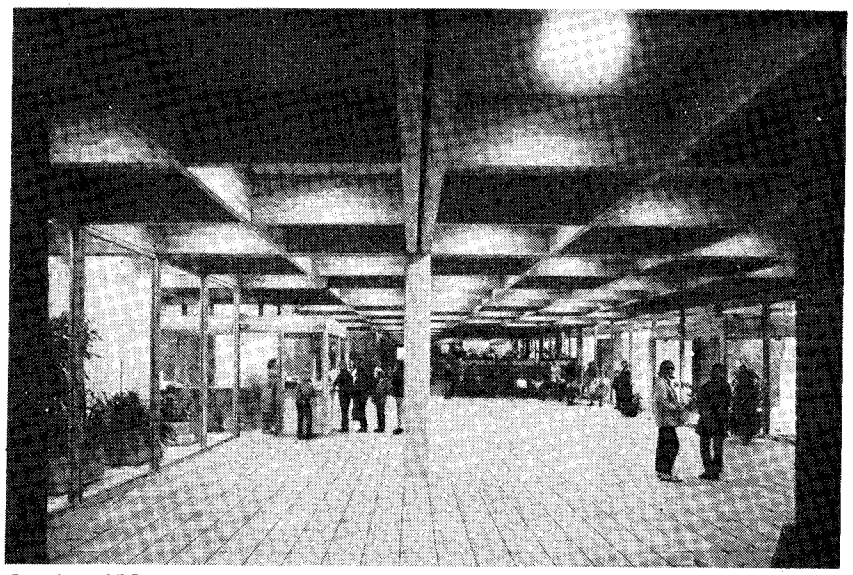
Gambar No.153d



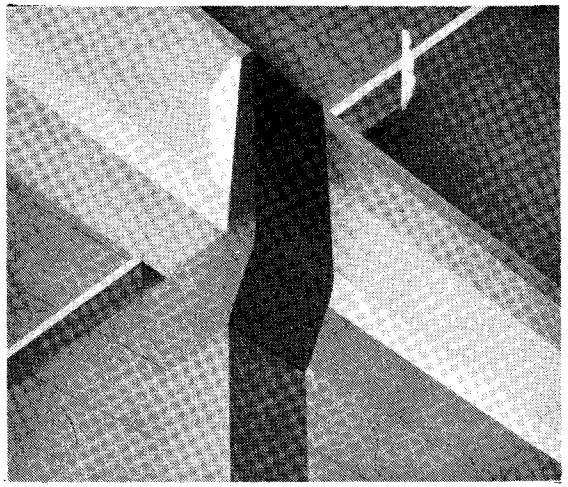
Gambar No.153e Contoh lagi dari konstruksi tiang balok dari kayu berlapis majemuk. Kuat, bersih, indah dan lebih bertahan terhadap bahaya kebakaran dari pada baja.

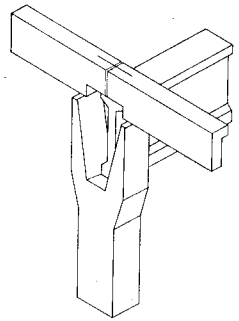
Gambar No.153f Contoh lain gedung berkonstruksi tiang-tiang, balok-balok dsb. dari kayu berlapis majemuk: GedungPemandian Umum di Aalborg Denmark. (Arsitek: Jacob Blegvad. Pembantu: P.Hvass, K.M. Nielsen).



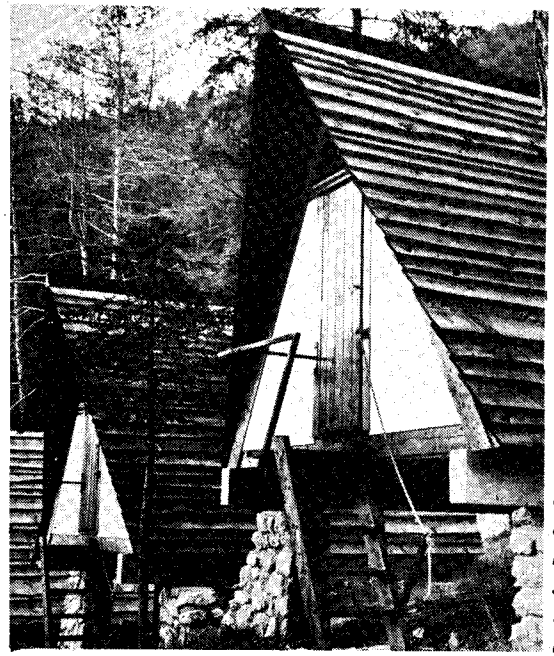


Gambar 153g





Gambar No.153h Konstruksi beton-baja yang rapi, sederhana dan indah. Dalam hubungan konstruktip seperti ini tampak, betapa satu tunggal unsur fungsi konstruktip dengan bahasa bentuk yang estetis.



Gambar No.154 Bangunan-bangunan peristirahatan muda-mudi Spanyol. Perhatikan perletakan keseluruhan diatas tiang tiang dasar di atas tanah hutan yang lembab.

Keterangan:

Jika atap diletakkan pada titik-titik, maka seluruh beban atap dipikul pada titik-titik itu. Jika diletakkan dengan prinsip garis, maka beban dibagiratakan pada seluruh garis. Demikian juga jika diletakkan pada pendukung bidang, maka beban dibagirata pada seluruh bidang pemikul. Pendek kata, seluruh beban selalu dibagirata pada bidang apa pun yang menjadi peletakkan beban. Itu bisa berupa bidang sangat kecil memusat (titik) dan karena itu di situ pemikul harus mendukung berat per cm^2 nisbi sangat besar. Atau itu berupa bidang luas dan karena itu beban per cm^2 nisbi sangat ringan.

Cara mana yang dipilih tergantung juga dari kebutuhan. Biasanya sistim pemikulan beban atap merupakan perpaduan atau kombinasi ketiga cara itu.

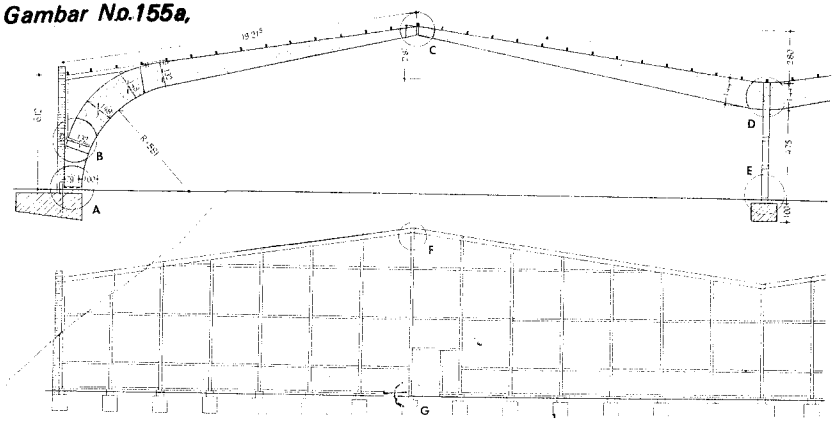
Sesekali kita temukan konstruksi dengan pemikul yang merupakan bidang (seperti yang terdapat dalam segala bentuk gua). Tetapi seumumnya pemikul memakai cara pendukungan pada titik (tiang-tiang, pilar, kolom dan sebagainya) dan pada garis (balok, dinding dan sebagainya).

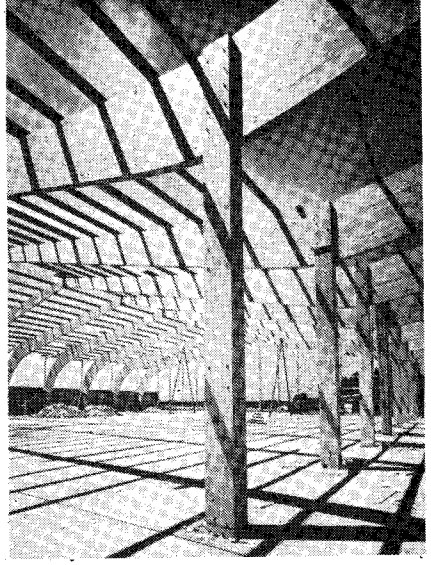
Salah suatu bentuk pemikul yang beralasan prinsip garis ialah kerangka. Dengan sistim kerangka, seluruh beban atap (dan beban-beban lain) dipikulkan dan disalurkan ke bawah pada garis bagian kerangka yang terbawa. Hal itu sering kita lihat pada kios-kios para penjual di tepi kakilima. Untung rugi dari ketiga cara itu antara lain dapat tampak pada *gambar-gambar 149-156.*

12.3 **Contoh-contoh dari praktek**

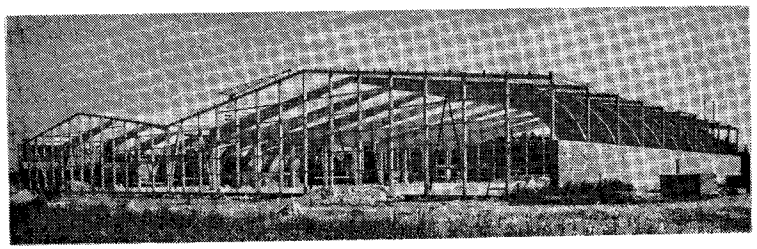
Selanjutnya baiklah kita mengamat-amati gambar-gambar berikut ini, nomor-nomor *155-156* yang melukiskan pelbagai sistim yang menarik dan penuh sumber inspirasi.

Gambar No.155a,



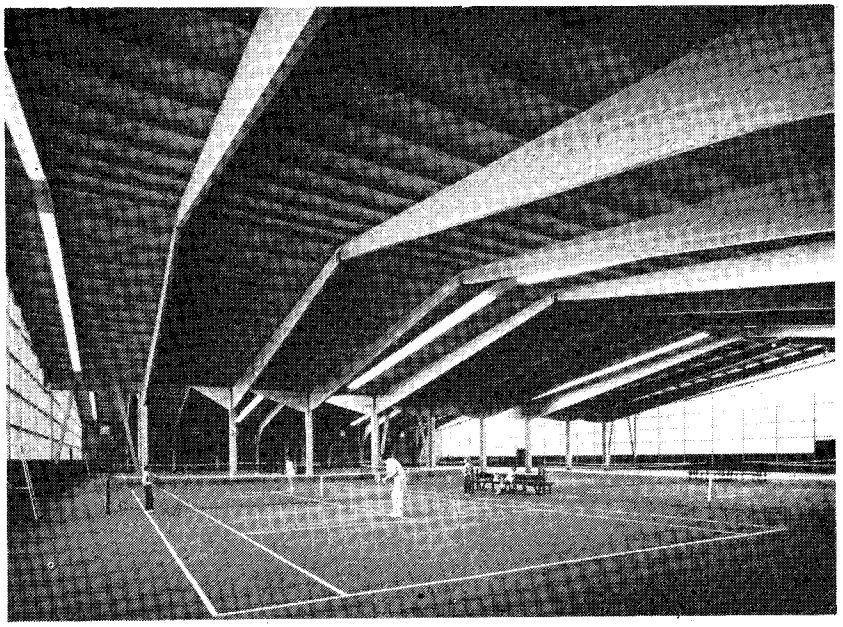


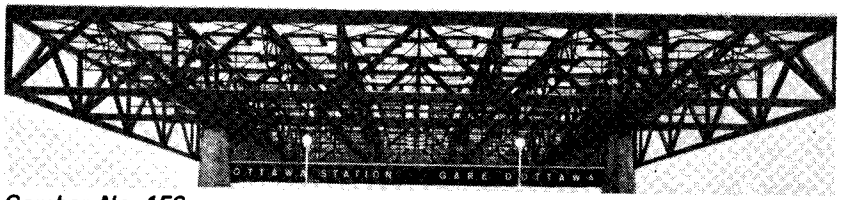
Gambar No. 155b. Kita tidak harus selalu mengandalkan bahan baja saja. Gedung Olah-raga di Grefrath dekat Duesseldorf (RF Jerman) ini dibangun dari kayu lapis majemuk dengan bentangan 76 m (!)
Padahal kayu yang dipakai di sini berkwalitas lebih rendah dari pada kayu jati atau kayu hutan Indonesia. Lihatlah betapa masih luas kemungkinan dan anugerah alam tanah air kita minta dimanfaatkan.



Gambar No.155c

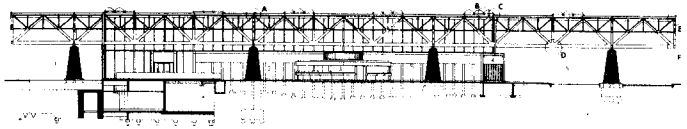
Gambar No.155d





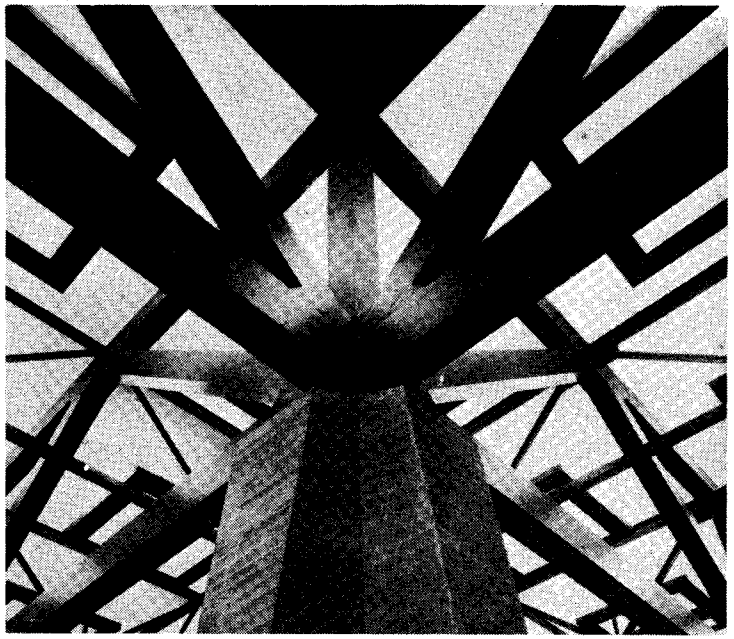
Gambar No. 156a

Potongan memanjang.

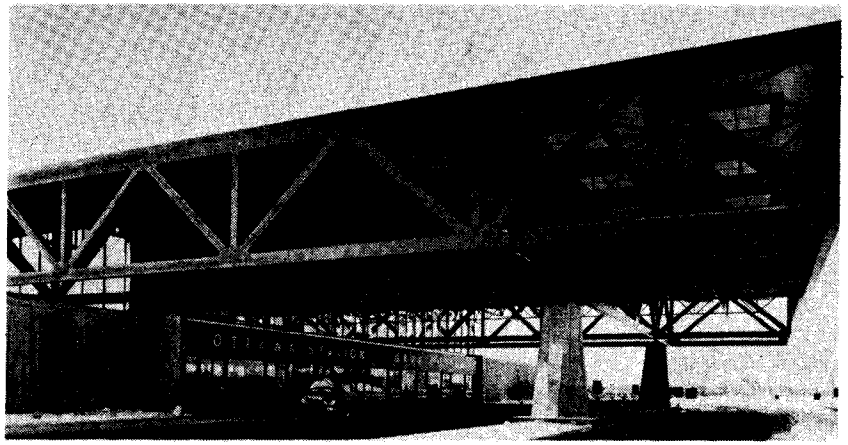


Gambar No.156b

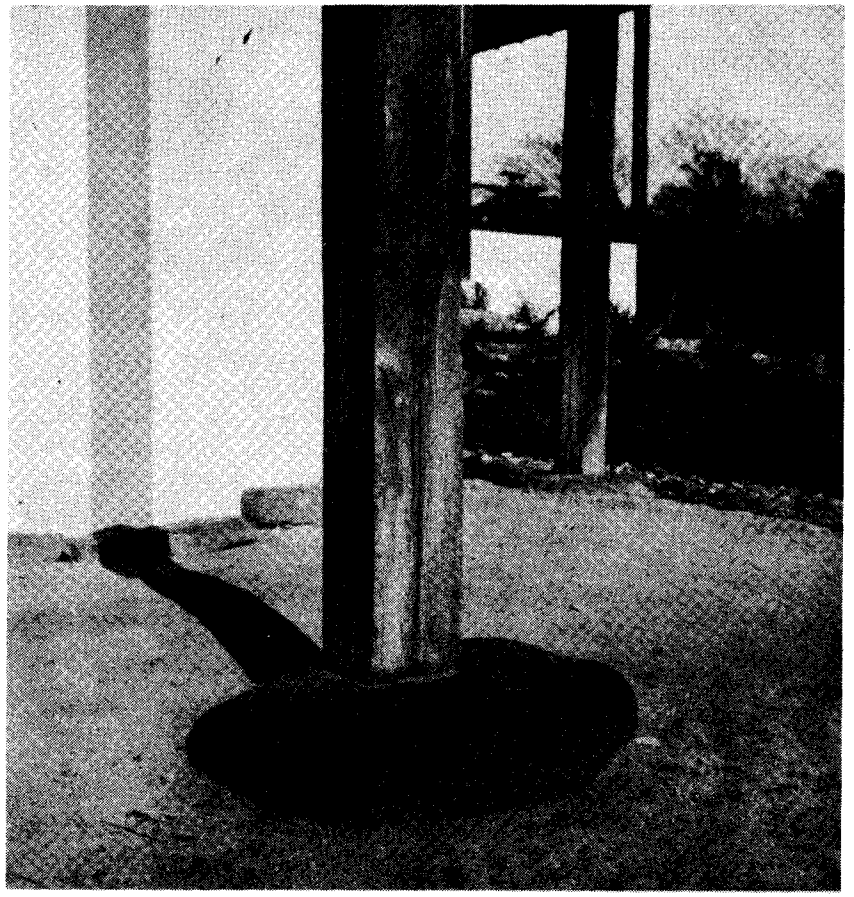
Gambar No.156a, b, c, d Bangunan kereta-api di Ottawa Kanada. Arsitek-arsitek: John B. Parkin Associates.
Secara demonstratip pada bangunan ini ditampakkan susunan unsur-unsur dasar konstruktip dan pengertian ATAP secara lengkap: yang meliputi
1) konstruksi pendukung
2) penutup atap atau kulit atap
3) dan langit-langit
dalam satu keutuhan konstruksi.
Walaupun bangunan ini terbuat dengan teknologi maju, akan tetapi IDE-nya sangat sederhana, bersih, namun monumental agung. Perletakan konstruksi pada sendi-sendi blok beton-baja dibuat sederhana juga, namun jelas bahasa statiknya.



Gambar No.156c



Gambar No. 156d



Gambar No. 157a

13.1 Pengertian dasar

Beban-beban dari bangunan bagian atas yang disalurkan ke bawah melalui unsur-unsur pemikul tadi harus mendapatkan sendi, alas atau pondasi (dari kata bahasa Perancis profonde = bahasa Latin: profundus = dalam).

Apakah tugas pondasi pada hakekatnya? Pondasi, alas, sendi bertugas meneruskan beban-beban dari semua unsur bangunan yang dipikulkan padanya kepada tanah, tempat bangunan itu didirikan.

Sebenarnya, tugas sendi/pondasi secara pinsip tidak jauh berbeda dari tugas tiang, dinding dan unsur-unsur pemikul lain, yakni selaku "pundak" pemikul beban. Hanya pondasi lazim disebut pondasi/sendi/alas karena kedudukannya ada pada tanah atau di dalam tanah.

a. Penerusan beban itu harus bersifat penyebar-luasan beban yang diterimanya kepada bidang tanah seluas mungkin, sehingga dengan penyebarluasan itu beban per satuan luas (cm_2) yang diberikan kepada tanah cukup ringan untuk kemampuan daya-dukung tanah. *(gambar 157).*

Oleh karena itu pondasi/alas selalu bermaksud, agar luas kontak dengan tanah, adalah sebesar mungkin, sesuai dengan yang diminta oleh tanah pendukung di bawah dan di sampingnya.

Rumus umum dari setiap pondasi ialah: $P=F.\phi$

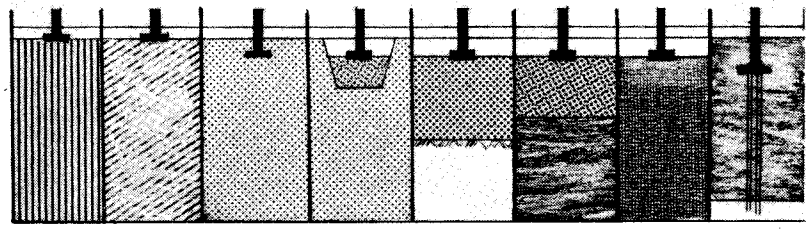
P adalah beban yang berasal dari beban-beban semua di atas dan yang harus diteruskan kepada tanah, tempat alas diletakkan. F adalah luas, bidang pendukung dan ϕ (sigma) adalah kemampuan pendukung dari tanah itu per kesatuan luas cm_2. Kemampuan pendukungan dari tanah berbeda menurut sifat dan tabiatnya. Jelaslah bahwa batu cadas lebih mampu mendukung beban dari pada tanah liat yang becek. Dari keterangan *gambar 157b)* dapat dibaca kemampuan-kemampuan pendukung dari pelbagai macam tanah.

b. Titik-titik kedudukan pendukungan beban pada tanah pondasi merupakan bidang.

Ada dua kemungkinan:

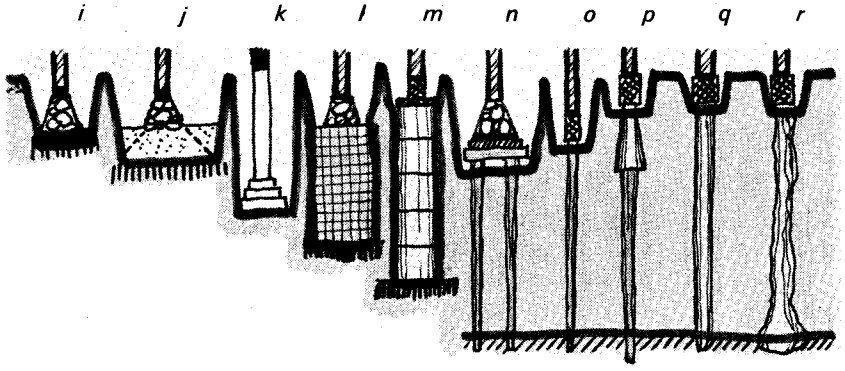
— bidang tersebut horisontal dan ini biasanya begitu *(gambar 158 a–i).* Tetapi sering juga melalui

— bidang vertikal, hal itu terjadi pada pondasi tiang, dimana kekuatan reaksi terhadap beban pada pondasi adalah daya-daya gesekan yang



a b c d e f g h

a	*= tanah cadas*	*10 — 30 kg/cm²*
b	*= tanah kapur keras*	*3 — 10 kg/cm²*
c	*= tanah pasir*	*2 — 5 kg/cm²*
d	*= tanah pasir basah sekali*	*0,5 — 1,0 kg/cm²*
e	*= tanah liat di atas tanah padat*	*4 — 5 kg/cm²*
f	*= tanah liat lembek*	*0 — 0,9 kg/cm²*
g	*= tanah campuran mengandung tanah liat*	*0,8 — 2,0 kg/cm²*
h	*= tanah sangat lembek di atas pasir*	



i j k l m n o p q r

Beberapa cara pondasi

i Pondasi pada pelat baja (keperluan khusus)
j Pondasi pada urugan pasir (lazim)
k Pondasi pada lengkung-lengkung penghemat material (proyeksi potongan vertikal melintang)
l Pondasi pada pengerasan tanah
m Pondasi pada silinder-silinder beton
n Pondasi pada tiang-tiang kayu ulin/jati
o Pondasi pada tiang-tiang beton bertulang
p Pondasi pada beton bertulang di atas tiang-tiang kayu ulin
q Pondasi pada tiang-tiang beton tak bertulang yang dicor setempat dalam pipa tuangan jadi dari pabrik
r Pondasi pada tiang-tiang beton yang dicor kasar secara langsung ke dalam lubang

menghalang-halangi tiang pondasi tenggelam *(gambar 158 h,n,o,p,q,r)*. Sangat sering dalam perhitungan pondasi, kedua arah dukungan horisontal dan vertikal itu dipadukan.

Demikian maka tanah alas (alas) harus merupakan tanah yang berkemampuan setinggi mungkin atau dengan sebutan lain: sudah matang untuk diletaki bangunan. Tanah yang belum matang misalnya, tanah yang baru saja dipakai sebagai sawah atau bekas tumpukan sampah Tanah yang masih penuh sisa-sisa kayu dan rongga-rongga, Tanah yang masih ditanami atau yang mengandung akar-akar tua pohon-pohon yang masih akan tumbuh dan dapat besar, tanah becek dan yang mudah gugur dan sebagainya.

c. Sesudah tanah kita matangkan, maka lepas dari macam pondasi apapun yang kita pilih nanti, kemampuan tanah harus kita periksa. Pemeriksaan untuk membangun gedung-gedung tinggi dan berat tentulah bisa sangat rumit dan harus memakai alat-alat khusus, tetapi bisa dengan cara sederhana untuk bangunan yang sederhana. Tanah pondasi yang baik tentulah lapisan yang keras, padat (tanah cadas). Tetapi sering tanah cadas itu sangatlah dalam atau sama sekali tidak ada, sehingga penggalian sampai tanah keras itu akan terlalu mahal.

Untuk tempat-tempat yang sangat becek lunak harus dicari akal lain. Yakni membuat tiang-tiang di dalam tanah yang berkat daya penahan penggesekan masih dapat mendukung beban tanpa tenggelam *(gambar 158 h)*.

d. Pemeriksaan tanah itu sendiri sebaiknya dilakukan oleh ahli. Tetapi hal itu sering tidak mungkin, karena selain ahli kurang, laboratorium tempat pemeriksaan tanah itu pun jarang terdapat.

Selain itu pemeriksaan dengan penggalian sumur pengambilan contoh-contoh tanah tidak bisa memuaskan juga. Sebab, dengan metode itu (besi sondir, pengeburan, pulsen dan sebagainya) memang benar, contoh-contoh tanah dapat dikeluarkan dan diperiksa lapisan-lapisan tanahnya, tetapi tanah yang terlepas, artinya yang tidak lagi dalam keadaan senyatanya di dalam tanah. Jelaslah perhitungan kekuatan tanah yang sudah lepas dari kerangka kesatuannya dengan lapisan lain di dalam tanah tidak mungkin cocok lagi dengan kemampuan lapisan-lapisan tanah itu dalam kedudukannya yang senyatanya. Hanya dengan alat-alat yang modern dan penelitian oleh orang-orang yang sangat ahli keadaan tanah seperti apa adanya dapat diperiksa dan ditaksir dalam laboratorium. Tetapi untuk keperluan-keperluan sehari-hari gedung bangunan yang sederhana, pemeriksaan itu terang terlalu mahal. Dari sebab itu jalan satu-satunya

yang baik ialah melihat pengalaman-pengalaman setempat dari bangunan-bangunan yang sudah ada dan yang ternyata sudah membuktikan ketahanannya di situ.

13.2 **Beberapa saran praktis**

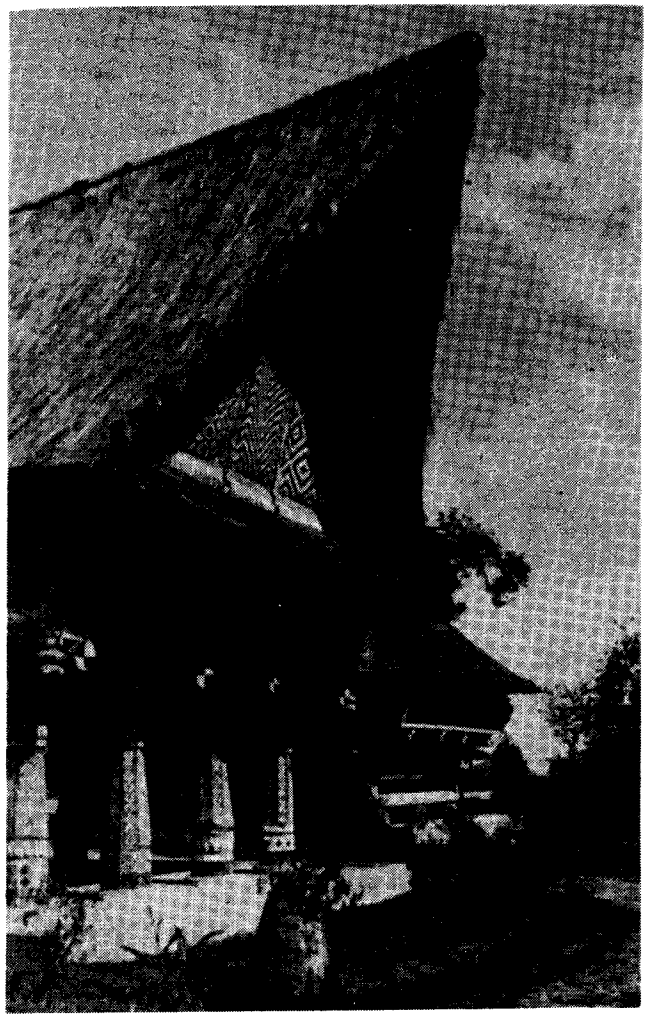
a. Demikianlah seumumnya perhitungan pondasi di tanah air kita sebenarnya praktis merupakan perkiraan saja menurut pengalaman dan dengan logika akal sehat si-perencana/pelaksana.

b. Akal sehat mengatakan misalnya, bahwa dinding-dinding yang dibebani balok-balok pemikul jelas lebih membutuhkan pondasi yang lebih besar dari pada dinding yang tidak mendukung apa pun. Juga bahwa pondasi tiang pendukung seluruh atap harus lebih kuat dari pada pondasi tepi lantai dari jerambah.

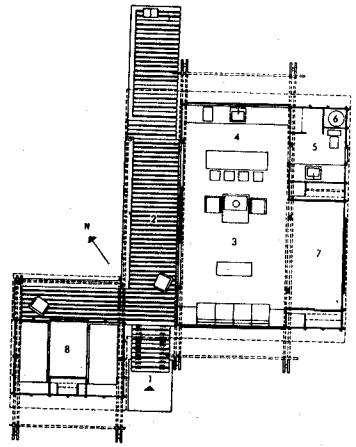
c. Akal sehat juga melihat, bahwa pada tanah liat yang serba lunak atau selalu bergerak, sebaiknya jangan dipasang jenis pondasi yang besar, luas dan panjang sekali secara kontinyu. Lebih baik dipilih pondasi-pondasi yang bersifat titik atau garis-garis pendek yang lepas satu dari yang lain, sehingga dapat dihindarkan akibat tanah yang bergerak pada dinding-dinding pondasi yang mudah patah dan retak. *(lihat gambar 157,158)*. Pondasi-pondasi titik untuk tanah semacam itu lebih dapat dikontrol pergeseran serta pengatasan soalnya dari pada pondasi-pondasi yang panjang kontinyu, yang bisa saling dorong-mendorong ataupun bahkan pecah lepas tanpa ketentuan jelas.

Gambar No. 158a: Model rumah bungalow yang prefabricated dengan konstruksi kayu.
Arsitek: George Matsumoto, Raleigh, North. Caroline USA.

d. Pondasi harus diletakkan pada lapisan yang cukup kuat untuk mendukungnya. Jadi diusahakan agar pondasi diletakkan pada lapisan yang keras stabil (batu cadas) *(lihat gambar 157b)*. Bila itu terlalu dalam, maka pondasi dipikulkan pada tiang-tiang kuat yang terbuat dari bahan yang tahan air. Tiang-tiang beton atau kayu ulin itulah yang didirikan di atas lapisan keras itu *(lihat gambar 157b)*.

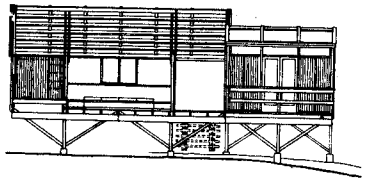


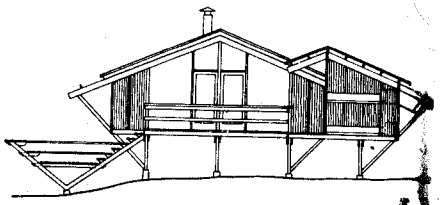
Gambar 159a: Konstruksi rumah Batak yang bagus berbentuk tiang (prinsip sendi titik) yang harus lebih kerap lagi kita manfaatkan untuk tanah-air kita yang kerap terkena gempa bumi.



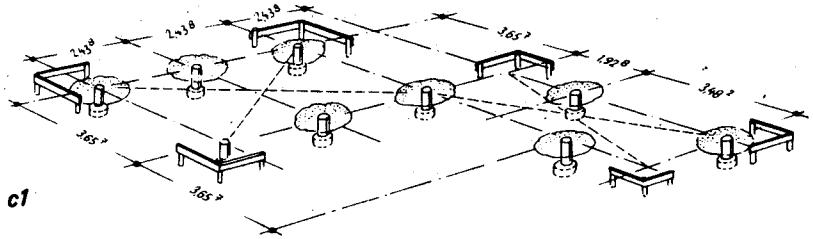
Gambar No. 158b

1. *masuk*
2. *teras*
3. *ruang tinggal*
4. *dapur dengan tempat makan*
5. *kamar mandi*
6. *pemanasan*
7. *beranda luar*
8. *ruang tidur*

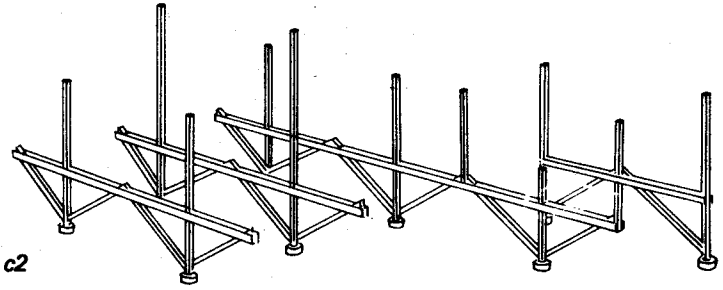




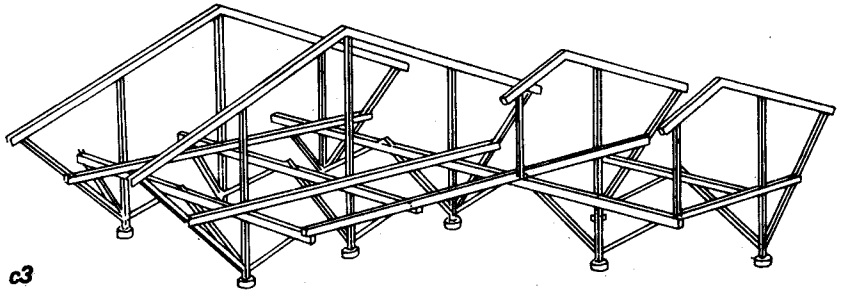
Gambar No. 158c: Perhatikan sistim sendi titik pada bangunan ini beserta pe tahapan pemasangan unsur-unsur yang sudah jadi dan tinggal disetel.



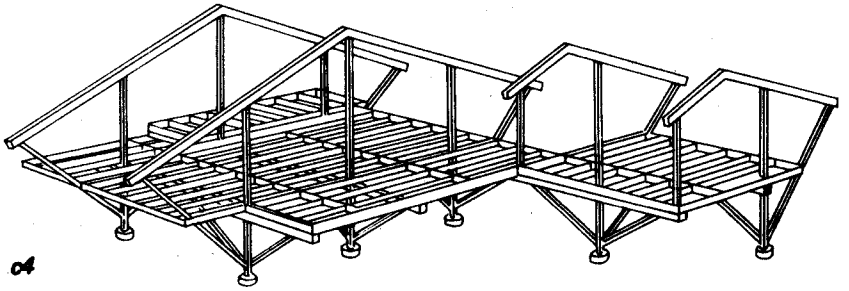
c1



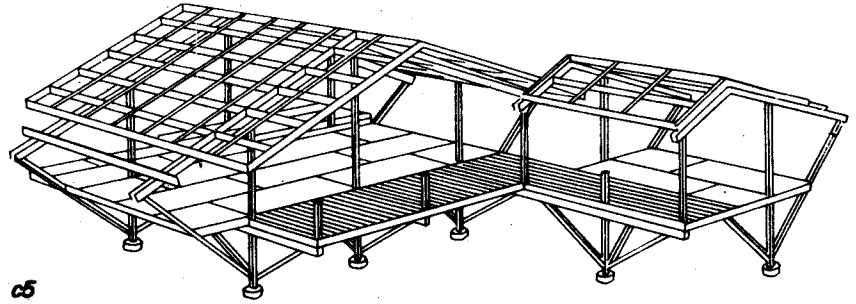
c2



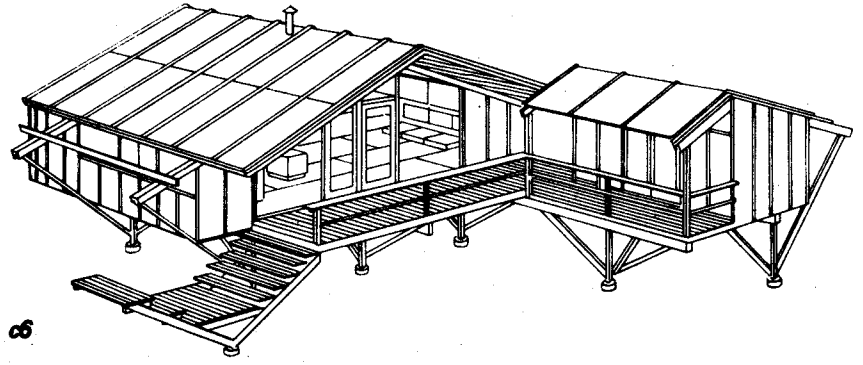
c3



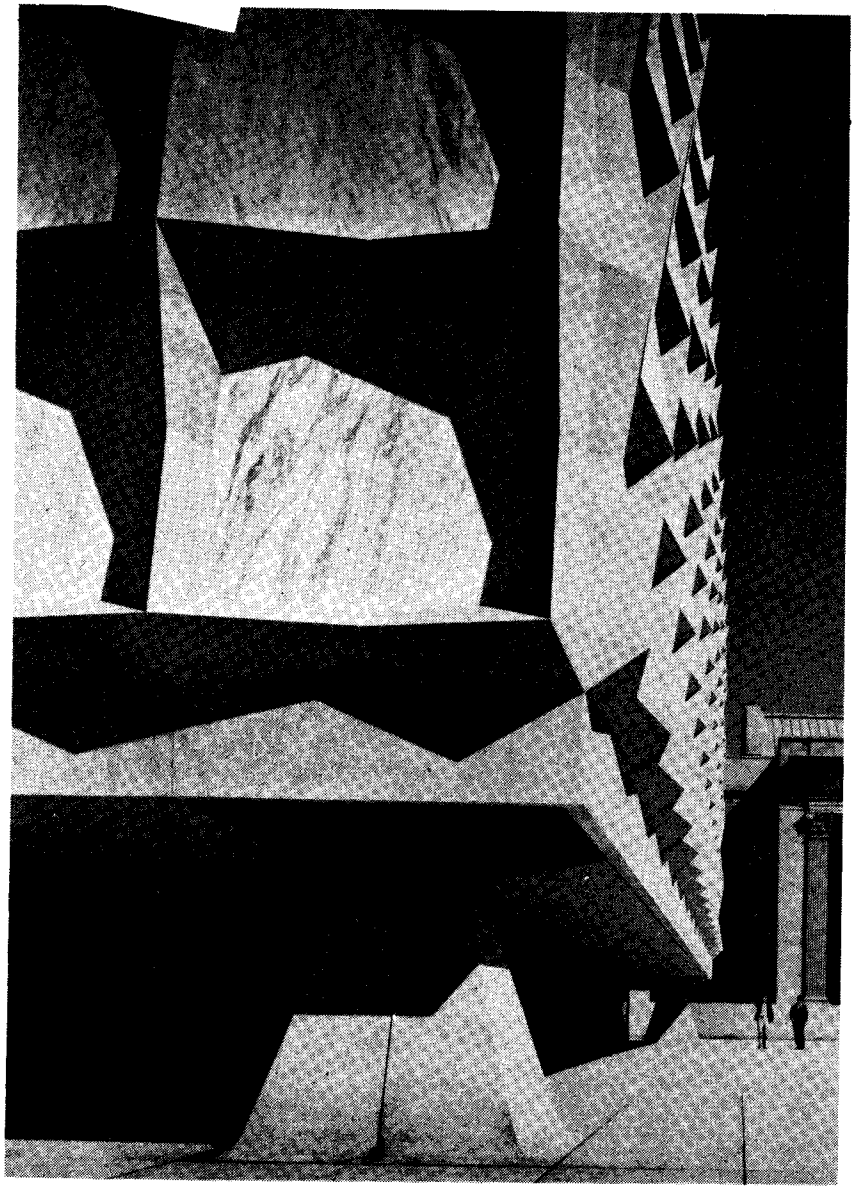
c4



c5



c6



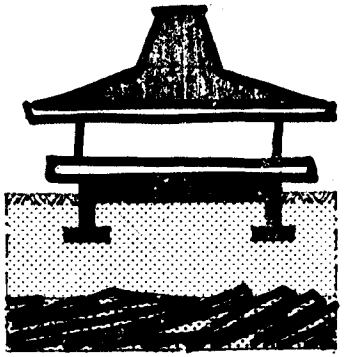
Gambar No. 159b: Prinsip sendi "umpak" dalam bentuk modern gedung luar negeri yang haibat, tetapi yang sebenarnya "pribumi" juga dalam seni bangunan Nusantara.

Seumumnya mudah dipahami bahwa pondasi harus dialaskan pada sendi-sendi tanah yang dalam dan padat. Selokan-selokan berlumpur harus ditimba kering dulu, pohon-pohon di dekatnya ditebang dan dibersihkan akar-akarnya. *(lihat gambar 160 g)*. Tetapi dalam kota-kota, sebaiknya pohon-pohon dihemat dan diselamatkan demi pernapasan bagian kota lainnya yang kekurangan hawa segar zat asam.

e. Lapisan yang padat ialah pasir yang padat. Tetapi pasir yang padat hanya alas yang baik bila ia tidak bisa lari atau hanyut dan ambrol ke dalam suatu rongga di bawahnya. Jenis tanah yang buruk harus diurug dengan pasir sebagai perbaikan tanah.

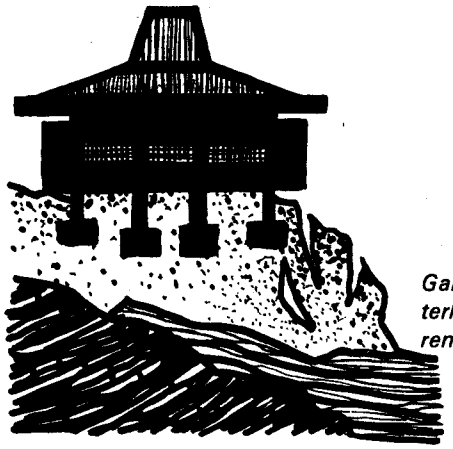
f. Sekedar pengetahuan akan batas-batas kemampuan persendian dari jenis-jenis tanah dapat anda lihat dalam daftar keterangan *gambar 158*

g. Sangat bermanfaat juga ialah pengetahuan kita tentang *sudut-sudut kecuraman alami* atau *sudut longsor* dari jenis tanah. Tanah dalam keadaan biasa akan longsor bila ia sampai pada batas sudut tertentu, yang disebabkan oleh berat bagian tanah di tepi yang melebihi kepadatan tanah itu. Semakin padat, sudut itu semakin curam dan semakin gembur, sudut longsornya semakin landai juga. *(lihat gambar 160 c)*.

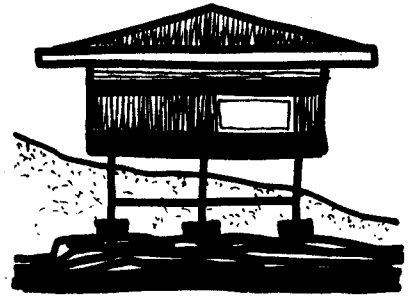


Gambar No. 160a: Pondasi tidak boleh "melayang" di atas batu cadas yang relatip padat dan keras dan hanya diletakkan di dalam tanah yang kurang stabil.

Gambar No. 160b: Bila tanah keras terlalu dalam dan kita ingin menghemat bahan bangunan, dapat juga kita membuat pondasi lengkung (Boog) yang pada prinsipnya adalah pondasi titik.



Gambar No. 160c: Peletakan pondasi terlalu dekat dengan tebing. Tanah lereng tebing bisa longsor.



Gambar 160d: Pondasi harus sampai pada tanah keras- padat.

Gambar 160e: Biarpun salah satu kaki pondasi harus diletakkan dalam-dalam, sendi harus sampai pada tanah cadas. Tetapi cara berpondasi sedemikian kurang menguntungkan dilihat dari segi bahaya gempa bumi.
(lihat pasal 4.5.c hlm. 84)

Gambar No. 160f: Keadaan berbahaya terdapat apabila air-tanah dapat merongrongi tanah di bawah pondasi.

Gambar No. 160g: Akar pepohonan besar dapat merongrongi bahkan merusak pondasi, bila pohon-pohon besar tumbuh terlalu dekat bangunan.

13.3 **Beberapa pasal pokok dari Peraturan Muatan Indonesia 1970 N.I.-18**

Di bawah ini kami turunkan beberapa pasal pokok dari *Peraturan Muatan Indonesia 1970 N.I.-18. (Dep. P.U.T.L. Dit Jen Cipta Karya)* dalam kaitannya dengan pelbagai pembebanan kepada sendi-alas bangunan.

Pasal 1.0 Pengertian muatan

(1) Muatan mati *) ialah semua muatan yang berasal dari berat bangunan dan/atau unsur bangunan, termasuk segala unsur tambahan tetap yang merupakan satu kesatuan dengannya.

(2) Muatan hidup **) ialah semua muatan tidak tetap, kecuali muatan angin, muatan gempa dan pengaruh-pengaruh khusus yang disebut dalam ayat-ayat (3), (4) dan (5), yang dapat dibebani bangunan dan/atau unsur bangunan.

X(3) Muatan angin ialah semua muatan pada bangunan dan/atau unsur bangunan disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

(4) Muatan gempa ialah semua muatan pada bangunan dan/atau unsur bangunan disebabkan oleh pengaruh gempa.

(5) Pengaruh-pengaruh khusus ialah semua pengaruh terhadap bangunan dan/atau unsur bangunan yang diakibatkan oleh: selisih suhu, pemasangan (erection), penurunan pondasi, susut, gaya rem, gaya sentrifugal, muatan berulang dan pengaruh-pengaruh khusus lainnya.

Pasal 1.1 Ketentuan-ketentuan mengenai perbebanan

(1) Bangunan-bangunan harus diperhitungkan terhadap pembebanan oleh:
Muatan mati (BAB II) dinyatakan dengan huruf a.
Muatan hidup (BAB III) dinyatakan dengan huruf b.
Muatan angin (BAB IV) dinyatakan dengan huruf c.
Muatan gempa (BAB V) dinyatakan dengan huruf d.
Pengaruh-pengaruh khusus (BAB VI) dinyatakan dengan huruf e.

(2) Kombinasi pembebanan yang harus ditinjau adalah sebagai berikut:

A. Kombinasi pembebanan tetap	a + b
B. Kombinasi pembebanan sementara	a + b + c
	a + b + d
C. Kombinasi pembebanan khusus	A + e
	B + c

(3) Apabila muatan angin, muatan gempa dan muatan hidup, baik yang membebani bangunan dan/atau unsur bangunan secara penuh maupun sebagian secara tersendiri atau dalam kombinasi memberikan pengaruh yang menguntungkan bagi suatu unsur bangunan maka pembebanan atau kombinasi pembebanan tersebut tidak boleh ditinjau di dalam perhitungan.

Catatan: Untuk keadaan-keadaan tertentu muatan mati, muatan hidup dan muatan angin harus/dapat dikalikan dengan suatu koefisien reduksi.

Pasal 1.2 Tegangan yang diizinkan:

(1) Dalam peninjauan kombinasi pembebanan tetap, seperti ditentukan dalam Pasal 1.1 ayat (2) A, dalam keadaan apa pun tegangan yang diizinkan tidak boleh dinaikkan.

*) Istilah lain: muatan tetap

**) Istilah lain: muatan berguna, muatan bergerak, muatan tidak tetap.

(2) Dalam peninjauan kombinasi pembebanan sementara, seperti ditentukan dalam Pasal ayat (2) B, dapat diadakan kenaikan tegangan yang diizinkan. Kenaikan ini bergantung pada jenis tegangan dan jenis konstruksi, dan diambil sebagai berikut:

a. Pada konstruksi baja kenaikan tegangan yang diizinkan di dalam baja, paku keling dan baut pas, untuk tekan, tarik dan geser adalah 35%.

b. Pada konstruksi beton bertulang, kenaikan tegangan yang diizinkan adalah sebagai berikut:
   - Untuk tekan, tarik dan geser di dalam beton adalah 100%.
   - Untuk tekan, tarik dan geser di dalam baja tulangan adalah 50%.
   - Untuk tegangan lekat antara beton dan baja-tulangan adalah 50%.

c. Pada konstruksi kayu, kenaikan tegangan yang diizinkan untuk tekan tarik dan geser adalah 50%.

d. Pada tanah pondasi, kenaikan daya dukung yang diizinkan dapat diambil sebagai berikut:

Tanah		Kenaikan yang diizinkan (%)
Jenis	Daya dukung (kg/M²)	
Keras	5	50
Sedang	2 - 5	30
Lunak	0,5 - 2	0 - 30
Amat lunak	0 - 0,5	0

(3) Apabila dalam peninjauan kombinasi pembebanan khusus seperti ditentukan dalam Pasal 1.1 ayat (2) C sebagai pengaruh khusus pada bangunan dan/atau unsur bangunan adalah gaya-gaya dinamis yang sering bekerja berulang kali dengan atau tanpa berbalik tanda, seperti pada keran, jembatan, dan lain-lain, maka harus diadakan penurunan tegangan yang di izinkan untuk memperhitungkan gejala kelelahan dari bahan.

Pasal 1.3 Muatan – batas bangunan

Dalam perencanaan konstruksi bangunan dengan analisa muatan-batas (ultimateload/Limit analysis), maka dalam peninjauan kombinasi-kombinasi pembebanan seperti yang ditentukan dalam Pasal 1.1, masing-masing muatan harus dikalikan dengan koefisien muatan (load factor) yang berlaku untuk masing-masing muatan itu.

Pasal 1.4 Kestabilan bangunan

Setiap bangunan harus ditinjau kestabilannya pada setiap kombinasi pembebanan seperti yang ditentukan dalam Pasal 1.1 ayat (2). Koefisien keamanan terhadap kestabilan itu, seperti terhadap guling, dan lain-lain harus minimum 1,5.

BAB II

MUATAN MATI

Pasal 2.1 Berat sendiri

(1) Berat sendiri dari bahan-bahan bangunan terpenting dan dari beberapa konstruksi yang harus dipakai di dalam menentukan muatan mati, harus diambil seperti yang tercantum dalam Tabel I.

(2) Apabila bahan bangunan atau konstruksi setempat memberikan berat sendiri yang jauh menyimpang dari harga-harga yang tercantum dalam Tabel I, maka berat sendiri tersebut harus ditentukan tersendiri dan harga yang didapat kemudian dicantumkan di dalam peraturan bangunan setempat sebagai pengganti dari harga yang tercantum dalam Tabel I. Penyimpangan ini terjadi terutama pada pasir (antara lain pasir besi tulen) kerikil (antara lain kerikil kwarsa), batu pecah, batu alam, batu bata, batu belah, batu gunung, batu bulat, jenis-jenis kayu dan genting, begitu pula pada konstruksi-konstruksi yang mengandung bahan-bahan tersebut.

(3) Apabila dari hasil penentuan pengetahuan berat sendiri ternyata diperboleh harga uang melampui harga dalam Tabel 1 lebih dari 10%, maka harga tersebut yang harus dipakai.

)4) Berat sendiri dari bahan bangunan dan dari konstruksi yang tidak tercantum dalam Tabel 1, harus ditentukan sendiri.

(5) Berat sendiri seperti disebut dalam ayat-ayat (2),(3) dan (4), harus ditentukan dengan memperhitungkan kelembaban setempat.

(6) Penentuan berat sendiri seperti disebut dalam ayat-ayat (3) dan (4), harus dilakukan dengan disaksikan dan disetujui oleh pengawas bangunan yang berwenang.

(7) Ke dalam pasal ini tidak termasuk syarat-syarat bahan dan syarat konstruksi.

Pasal 2.2 Reduksi muatan mati yang memberikan pengaruh yang menguntungkan

(1) Apabila muatan mati memberikan pengaruh yang menguntungkan terhadap tegangan-tegangan yang bekerja di dalam suatu unsur dan/atau bagian bangunan maka sebagai muatan harus diambil harga berdasarkan Tabel 1 dikalikan dengan koefisien reduksi 0,9.

(2) Apabila muatan mati suatu konstruksi dan/atau sebagian dari padanya memberikan pengaruh yang menguntungkan terhadap kestabilan, maka dalam perhitungan keamanan guling, muatan mati tersebut (kalau perlu termasuk berat blok-blok jangkar) harus dikalikan dengan koefisien reduksi 0,9.

TABEL 1 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Konstruksi

BAHAN BANGUNAN:	
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600 kg/m³.
Pasir (jenuh air)	1.800 kg/m³.
Kerikil (kering udara sampai lembab, tidak diayak)	1.650 kg/m³
Pasir (kerikil udara sampai lembab)	1.850 kg/m³.
Batu pecah (tidak diayak)	1.450 kg/m³.
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m³.
Batu belah, batu gunung dan batu bulat (berat tumpuk)	1.500 kg/m³.
Tanah-tanah liat dan tanah geluh (kering udara sampai lembab)	1.700 kg/m³.
Tanah-tanah liat dan tanah geluh (basah)	2.000 kg/m³.
Batu alam	2.600 kg/m³.
Beton	2.200 kg/m³.
Beton bertulang	2.400 kg/m³.
Pasangan batu belah, batu bata	1.700 kg/m³.
Pasangan batu belah, batu gunung dan batu bulat	2.200 kg/m³.
Pasangan batu karang	1.450 kg/m³.
Besi tuang	7.250 kg/m³.
Baja	7.850 kg/m³.
Timah hitam	11.400 kg/m³.

Gambar No. 161

14. LANTAI

14.1 Gagasan dasar tentang fisika unsur

Pertama lantai berfungsi selaku "dinding", atau penutup ruangan bagian bawah. Oleh karena itu, dilihat dari pertimbangan-pertimbangan akustik misalnya atau isolasi/pelindung terhadap panas dan dingin luar, lantai dapat digarap menurut hukum-hukum fisika biasa yang berlaku untuk dinding-dinding (lihat Pasal 6). Tetapi lantai masih punya tugas untuk mendukung beban-beban yang datang dari benda-benda perabot rumah, manusia yang ada atau lalu dalam ruangan. Dan karena itu dituntut agar selalu kuat memikul beban mati atau hidup/lalu-lintas manusia serta hal-hal lain yang ditumpangkan padanya. (lihat Pasal 14.4).

Dari sebab itu lantai harus kuat memikul beban, harus kaku, juga tidak terlalu bergetar bila orang atau barang lewat. Terutama bila lantai sekaligus berfungsi juga sebagai dinding/langit-langit pemisah antara ruangan bawah dengan ruangan loteng di atasnya, maka soal keamanan dan akustik-bangunan akan meminta pemikiran yang khusus. Selain kuat dan rapat debu, masalah gangguan bunyi kontak atau bunyi langkah orang berjalan harus dinetralisir/diberantas sebanyak mungkin. (lihat Pasal 8).

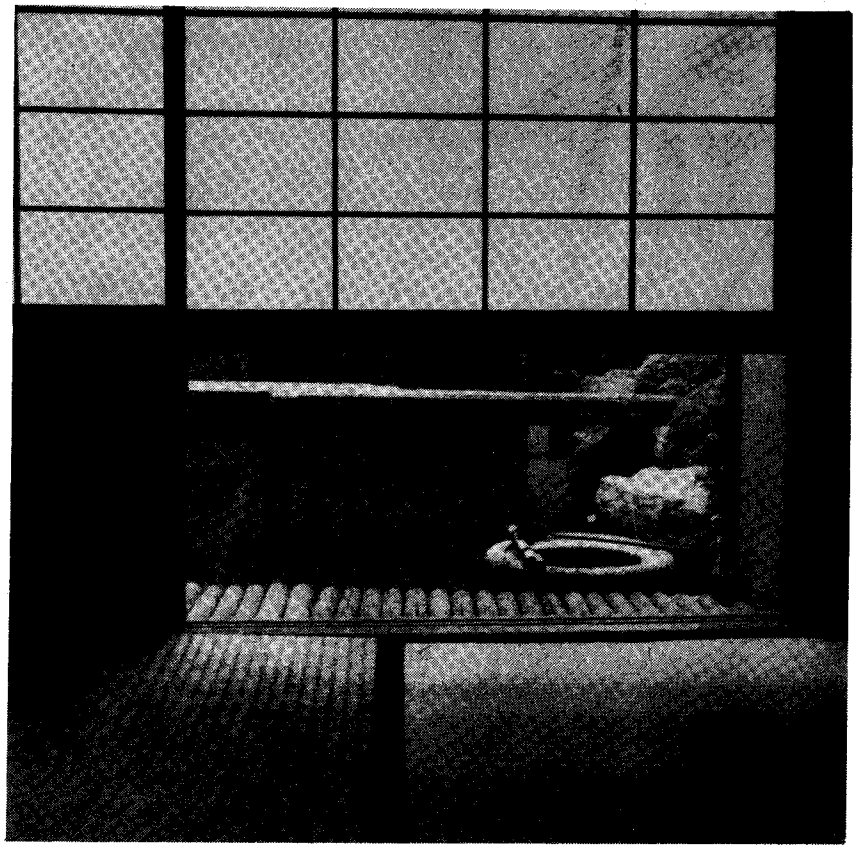
14.2 Lantai dan perwujudannya

Konstruksi lantai bermacam-macam, tergantung bahan dan sistim konstruksi yang digunakan. Namun tergantung juga dari rupa dan macam pilihan apa lantai ingin dibentuk. Walaupun lantai merupakan bagian yang ada di bawah dan diinjak-injak, akan tetapi pandangan manusia lebih banyak terkena oleh lantai daripada langit-langit misalnya. Begitulah cara membentuk, mengatur susunan serta tata warna lantai menjadi sangat penting.

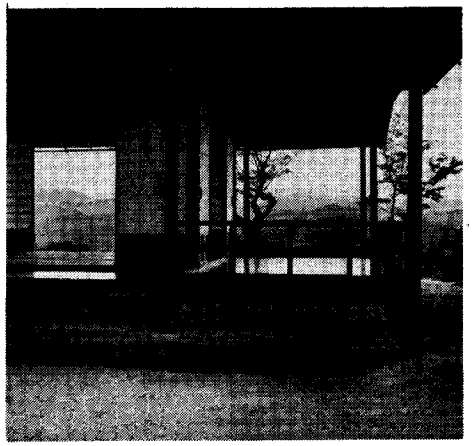
14.3 Lantai, khusus untuk tanah-air kita

a. Lantai sebagai bidang yang ditempati meja-kursi tempat-tidur dan sebagainya datang dari kebudayaan Barat. Lantai rumah-rumah pribumi kita sebenarnya sekaligus adalah tempat-duduk (tikar misalnya) meja-kerja, meja-makan, tempat-tidur dan sebagainya. Itu samasekali bukan kebudayaan rendah. *(gambar 161)*. Orang Jepang pun demikian, bahkan

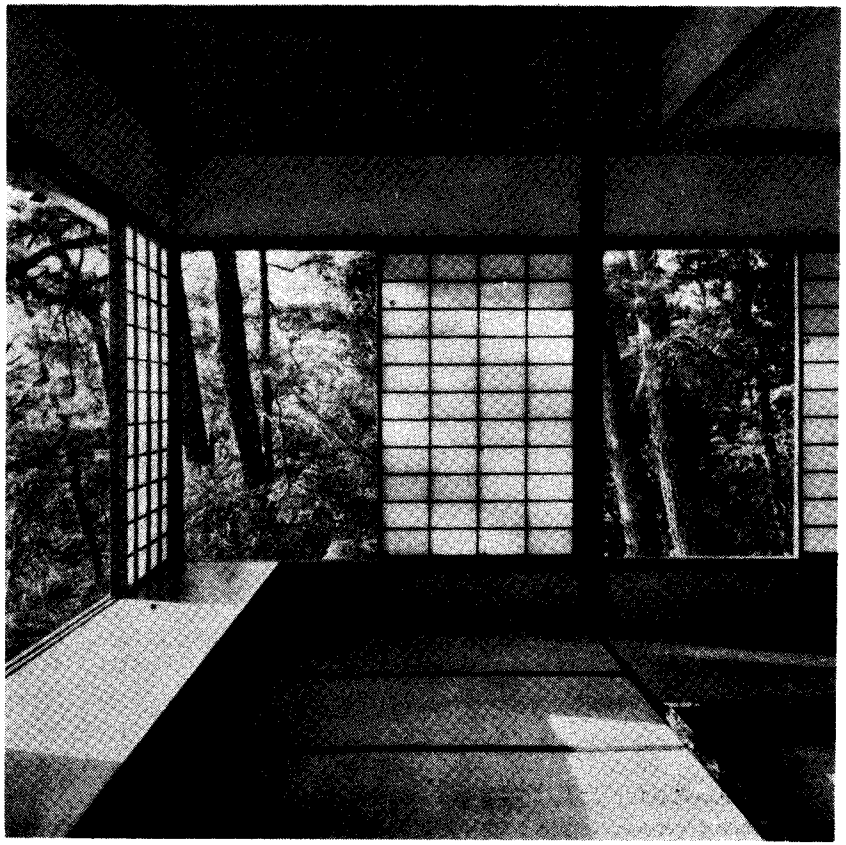
tata-susunan rumah Jepang dengan tikar-tikarnya yang disebut *TATAMI* sangatlah termashur indahnya *(gambar 162)*. Bahkan dalam arsitektur paling modern sekarang, orang Barat banyak menirunya. Lantai keseluruhannya ditutup dengan permadani, tempat anak-anak dan muda-mudi duduk santai tiduran sambil membaca. Lantai sering sebagian direndahkan, dan terbentuklah semacam kolam dengan tepi yang bertangga, sehingga sudah merupakan kursi atau sofa duduk. Tanpa dibutuhkan lagi perabot kursi dan meja. Demikian pun cara orang Jepang tidur di tatami. Tatami pada malam hari diberi kasur dan kasur itu digulung pada pagi harinya, disimpan dalam almari. Begitulah ruangan selalu kelihatan rapi dan in-



Gambar No. 162a: Lantai bukan cuma unsur yang hina diinjak-injak belaka, namun ungkapan budaya manusia. Lantai dari tikar (tatami) Jepang. Perhatikan beranda dari bambu di luar dan keseluruhan arsitektur yang bersih, sederhana, agung dan penuh damai.

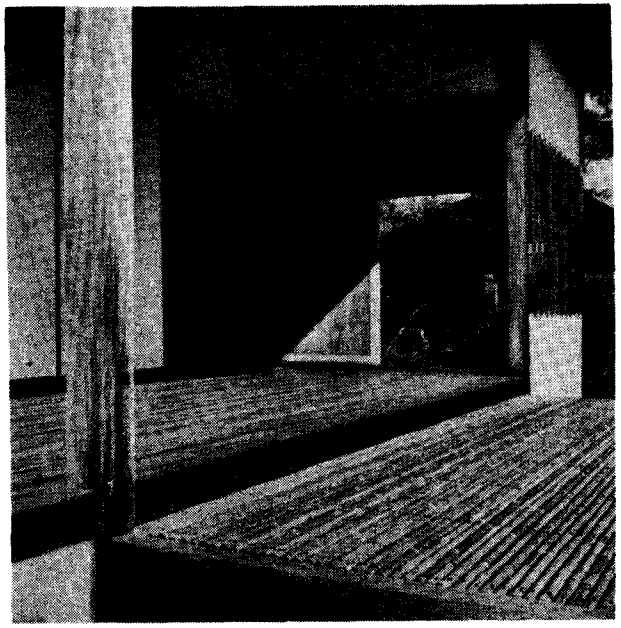


Gambar No. 162b,c: Dinding kertas yang merupakan pintu slorog dari Jepang. Di sini dinding diciptakan sebagai selaput belaka, bukan dimaksud sebagai unsur keamanan. Perhatikan keselarasan antara dinding dengan tikar-tikar tatami di lantai. Sederhana, agung, indah.



dah. Cara kebudayaan tidur sedemikian semakin ditiru oleh orang Barat, karena memang sederhana, wajar, rapi dan indah.

Jadi jelaslah, bahwa lantai tidak harus dinilai sebagai unsur bangunan yang "rendah dan kotor", akan tetapi biasa merupakan unsur yang sangat mendukung suatu kebudayaan bermukim yang murah, bagus dan indah.



Gambar No. 162d: Lantai beranda dari Jepang, terbuat dari belahan-belahan bambu.

Lantai rumah-rumah *Dayak* yang dibuat dari anyaman rotan misalnya sangatlah indah dan bersih. *(lihat gambar 161)*. Hangat lagi untuk tempat tidur. Disini lagi tampak, betapa bagusnya sistim rumah-panggung ciptaan nenek-moyang kita, dan yang kita lihat versi modernnya di Jepang dan di mana-mana. Belum lagi keunggulannya dalam menghadapi bahaya gempa-bumi.

b. Sejak orang-orang Barat datang, orang-orang kita banyak membangun dengan lantai plesteran PC atau ubin. Terbuat dari PC kelabu biasa, atau teraso ataupun marmer buatan dan banyak macam ubin, yang berkat kerasnya sangat bagus bila dipoles dan mengkilat. Lantai ubin biasanya kedap air (asal benar-benar PC ubin basah yang mengalami pengerasan di dalam air) dan keras. Lagi dingin untuk rumah dalam hawa tropika. Kesejukan pada siang-hari itulah yang paling dicari dari lantai ubin, selain kebolehannya mudah dibersihkan.

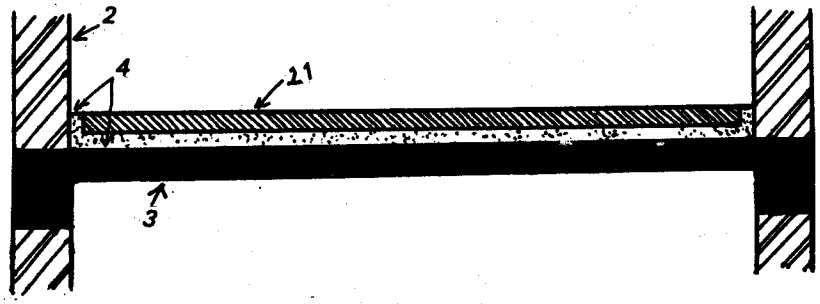
Gambar No. 163: Apakah kita masih sanggup untuk menghayati keindahan yang terungkap oleh kesederhanaan bentuk masa lampau? (lantai suatu gereja di Perancis).

Gambar No. 164: Lantai-lantai kuno dari batu pecah yang menjadi saksi jaman. Contoh dari Austria.

c. Lantai kayu hangat untuk malam hari, tetapi untuk orang-orang sederhana sangat sulit bisa dibersihkan seperti ubin. Namun kayu yang disekam bagus dengan mesin dan dibuat menjadi lapisan lantai kayu (parket) yang digosok dengan malam/parafine bisa sangat bersih dan mengkilat indah. *(lihat gambar 162 b)*. (Jangan dipernis, tetapi digosok dengan malam/parafine).

d. Lantai batu alam sangat baik digunakan untuk luar atau dalam dan dapat menimbulkan rasa keharuan, karena pancaran keantikan padanya. *(gambar 163, 164)*. Tetapi pilihlah sebaiknya batu yang keras, bukan batu candi yang terlalu empuk dan berpori banyak. Lantai di dalam rumah dengan ubin batu candi sangatlah lembab dan tidak sehat.

e. Lantai biasanya langsung dipasang di atas alas tanah berpasir atau dicor dibuat sebagai lantai masif pada rumah bertingkat. Untuk menghindari gangguan bunyi-langkah atau bunyi kontak, lapisan lantai yang teratas (ubin yang diinjak) sebaiknya diletakkan dengan prinsip "lantai mengambang" *(lihat Pasal 8.)/gambar 165)*.



Gambar No. 165: Prinsip lantai mengambang
1. lantai keras
2. dinding
3. konstruksi pemikul lantai
4. bahan lunak penyerap getaran-getaran bunyi-injakan/kontak.

Lantai mengambang memang tidak menyentuh dinding atau bagian lantai loteng yang konstruktip, tetapi bagaikan "berenang" di dalam bahan empuk, seperti wool serat gelas misalnya *(lihat gambar 94)*. Bisa juga pada bahan ijuk atau serabut kelapa, pokoknya bahan yang tahan terhadap kelembaban. Salah suatu bahan untuk lantai mengambang adalah aspal. Tetapi itu hanya baik dipakai di daerah dingin yang tidak terlalu panas.

f. Selanjutnya dari segi fisikalis, lantai bisa digarap dengan pertimbangan-pertimbangan yang berlaku untuk dinding. (lihat Pasal 2 dan 6).

BAB III
MUATAN HIDUP

Pasal 3.1 Muatan hidup lantai bangunan

(1) Sebagai muatan hidup untuk lantai-lantai bangunan harus diambil harga-harga yang tercantum dalam tabel II. Di dalam harga-harga tersebut, kecuali berat orang-orang (penghuni), juga termasuk berat inventaris biasa sesuai dengan kegunaan lantai tersebut, dan juga dinding pemisah ringan dengan berat tidak lebih dari 100kg/m. Muatan-muatan berat-berat, misalnya yang disebabkan oleh lemari-lemari arsip, perpustakaan, alat-alat mesin-mesin dan barang-barang lain tertentu yang sangat berat, harus diperhitungkan sendiri.
(2) Muatan-muatan hidup yang ditentukan dalam pasal ini berlaku pula untuk bangunan sementara.
(3) Muatan-muatan yang ditentukan dalam pasal ini tidak perlu dikalikan dengan suatu koefisien kejut.
(4) Lantai bangunan yang dapat diharapkan akan dipakai untuk berbagai tujuan, harus diperhitungkan terhadap muatan hidup tertinggi yang mungkin terjadi.

Pasal 3.2 Muatan hidup atap bangunan

(1) Atap rata dengan kemiringan tidak lebih dari 1 : 20 dan pelat luifel, yang tidak dapat dicapai dan dimuati oleh orang-orang dan di mana tidak dapat bergenang air, harus diperhitungkan terhadap suatu muatan hidup sebesar minimum 75kg/m² bidang datar.
(2) atap dan/atau bagian-bagian atap dari bangunan dan pelat luifel, yang dapat dicapai dan dapat dimuati oleh orang-orang, harus diperhitungkan terhadap suatu muatan hidup sebesar minimum 100kg/m² bidang datar.
(3) Dalam perhitungan reng, usuk/kaso, gordeng/gulung-gulung dan kuda-kuda, untuk semua atap harus diperhitungkan satu muatan terpusat sebesar minimum 100kg. (Berasal berat dari seorang pekerja atau seorang pekerja atau seorang pemadam kebakaran dengan peralatannya).
(4) Apabila suatu balok tepi atau gordeng/gulung-gulung tidak cukup ditunjang oleh dinding atau penunjang lainnya, dan pada kantilever muatan terpusat yang disebut dalam ayat (3) harus diambil minimum 200kg.

(5) Muatan-muatan yang disebut dalam ayat-ayat (3) dan (4) dianggap tidak bekerja bersamaan dengan muatan angin atau muatan gempa.

TABEL II Muatan Hidup Lantai Bangunan

a. Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b 200 Kg/m².
b. Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko atau ruang kerja ..... 150 Kg/m².
c. Lantai Sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, restoran hotel dan asrama ..... 250 Kg/m².
d. Lantai ruang olah-raga ..... 400 Kg/m².
e. Tangga, bordes tangga dan gang disebut dalam Cm ... 300 Kg/m².
f. Lantai ruang dansa ..... 500 Kg/m².
g. Lantai dan balkon-dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan, tidak termasuk yang disebut dalam a s/d f, seperti gereja, ruang konser, ruang pertunjukan, ruang rapat, bioskop dan sebagainya, juga panggung penonton dengan tempat duduk tetap ..... 400 Kg/m₂.
h. Panggung penonton tempat berdiri atau dengan tempat duduk tidak tetap ..... 500 Kg/m².
i. Tangga, bordes tangga, lantai dan gang dari ruang-ruang yang disebut dalam d, f, g dan h ..... 500 Kg/m².
j. Lantai ruang pelengkap dari ruang-ruang yang disebut dalam c, d, f dan g ..... 250 Kg/m².
k. Untuk lantai-lantai: ruang kerja, gudang, garasi, perpustakaan, ruang alat-alat dan mesin dan lain-lain, muatan hidup harus ditentukan sendiri, sesuai dengan muatan hidup maksimum yang dapat diharapkan,
akan tetapi tidak boleh kurang dari ..... 250 Kg/m².
l. Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus diperhitungkan terhadap muatan hidup dari lantai-dalam yang berbatasan, dengan minimum ..... 300 Kg/m².

Pasal 3.3 Kombinasi pembebanan

(1) Dalam meninjau kombinasi pembebanan (a + b) seperti yang ditentukan dalam pasal 1.1 ayat (2) A, sebagai muatan hidup harus diambil muatan penuh (tanpa dikalikan dengan koefisien reduksi), kecuali mengenai yang ditentukan dalam ayat (2) pasal ini.

(2) Dalam perhitungan unsur-unsur tertentu bangunan bertingkat, seperti pondasi, kolam, dan unsur-unsur lain sejenis, yang memikul muatan hidup lantai tingkat dan atap dapat dikalikan dengan koefisien reduksi sebagai berikut:

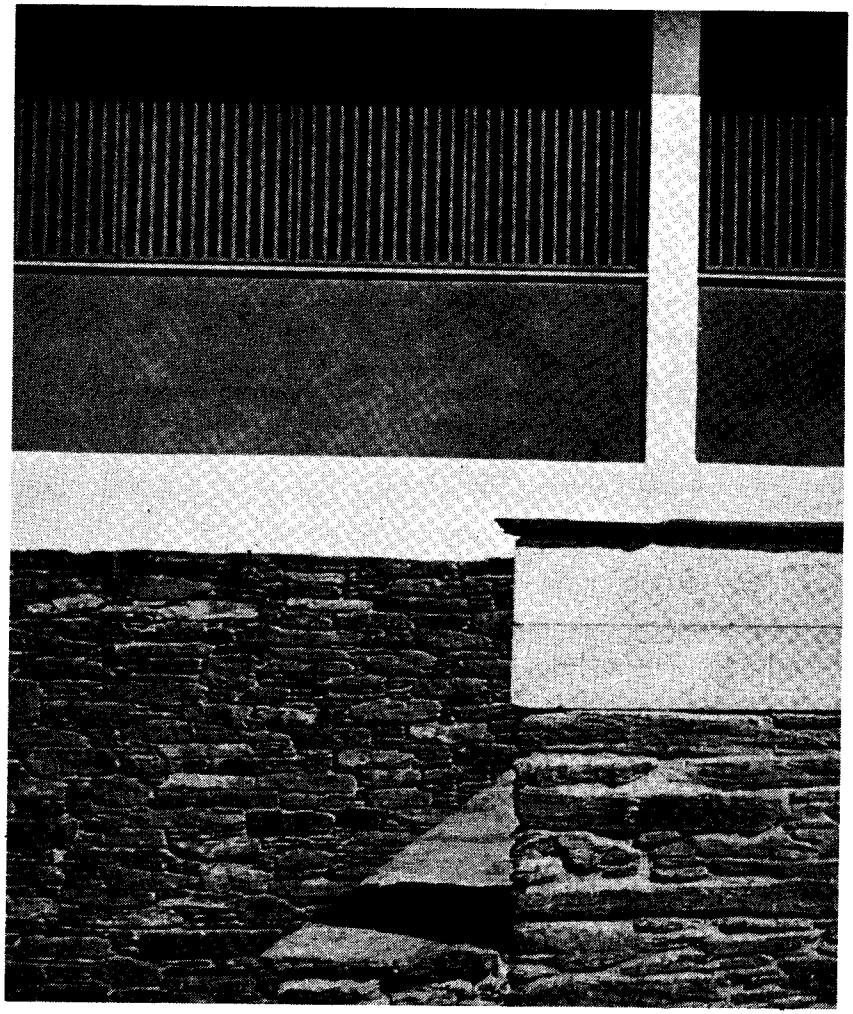
	Koefisien reduksi muatan hidup
Atap	1,0
Lantai paling atas	1,0
Lantai kedua dari atas	0,9
Lantai ketiga dari atas	0,8
Lantai keempat dari atas	0,7
Lantai kelima dari atas	0,6
Lantai keenam dari atas	0,5
Semua lantai di bawahnya	0,4

(3) Dalam perhitungan unsur-unsur tertentu bangunan bertingkat seperti ditentukan dalam ayat (2), muatan hidup penuh (tanpa dikalikan dengan koefisien reduksi) tetap harus diperhitungkan pada:
   a. Lantai-lantai gudang, ruang arsip, perpustakaan dan ruang-ruang lain sejenis;
   b. Lantai-lantai/atau unsur-unsur bangunan yang memikul muatan berat tertentu yang tetap, seperti alat-alat dan mesin-mesin.

(4) Pada perhitungan pondasi, pengaruh muatan hidup pada lantai yang menumpu di atas tanah harus turut diperhitungkan.
Dalam hal ini, muatan hidup pada lantai tersebut, di dalam perhitungan muatan pondasi menurut yang ditentukan dalam ayat (2), tetap diambil penuh (tidak dikalikan dengan koefisien reduksi).

Pasal 3.5 Muatan hidup horisontal

Muatan hidup horisontal yang dapat terjadi oleh sejumlah besar orang-orang yang bergerak pada bangunan-bangunan tertentu, harus diperhitungkan sebagai bekerja dalam dua arah yang saling tegak lurus, sebesar suatu prosentase dari muatan hidup vertikal. Bergantung pada konstruksi dan kegunaannya (umpamanya pada panggung-panggung penonton), prosentase tersebut diambil 5 — 10%.



Gambar No. 166

15.0 **Umum**

Dinding-dinding bangunan dari segi fisika bangunan mengemban beberapa fungsi atau kombinsi dari sekian fungsi di bawah ini:

1) fungsi pemikul beban di atasnya.
2) fungsi penutup atau pembatas ruangan, baik visuil maupun akustis.
3) menghadapi alam luar dan ruangan-dalam:
   = radiasi sinar cahaya dan sinar kalor dari matahari.
   = radiasi sumber-sumber kalor dari dalam.
   = isolasi atau penghalang kalor yang datang dari luar.
   = pemeliharaan suhu yang diminta dalam ruangan.
   = pelindung terhadap hempasan hujan dan kelembaban dari luar.
   = pengatur derajad kelembaban di dalam ruangan.
   = pelindung terhadap arus angin luar.
   = pengaturan ventilasi di dalam ruangan.

15.1 **Fungsi pemikul beban bangunan**

Sebagai pemikul, dinding harus kuat bertahan terhadap tiga kekuatan pokok, yakni,

a. *Tekanan vertikal* dari beban, baik beban diri sendiri maupun beban yang dipundakkan dari atas (atap, lantai loteng, balok lain dan sebagainya).

b. *Tekanan horisontal* yang datang dari pelbagai hal, seperti misalnya komponen tekanan atap emperan yang menekan dari samping, dari sekur-sekur, bagian-bagian tanah pada tebing tekanan air bila dinding berfungsi mirip dinding bak air, dan sebagainya dan tekanan-tekanan mekanis dari barang-barang dalam gedung.

Biasanya tekanan horisontal tidak besar, tetapi dapat menimbulkan daya momen yang dapat menjebolkan. Dinding jangan sampai dibebani tekanan-tekanan horisontal, yang sebaiknya dialihkan kepada kerangka atau tiang kayu. Atau pun dinetralisir dengan penyanggah-penyanggah khusus, sehingga dinding bebas dari tekanan horisontal maupun momen-momen yang mengganggu. Hal itu harus sangat diperhatikan, terutama pada dinding-dinding yang memikul bahan penting dari atas.

c. Beban vertikal sering jauh melampui ukuran tebal atau tipis dinding, sehingga timbullah *daya tekuk*. Oleh karena itu dinding-dinding harus dibuat cukup tebal, walaupun dari segi kemampuan pemikulan beban bisa dibuat tipis. Baik dari pembebanan ke arah vertikal maupun pertimbangan bahaya tekuk, dinding-dinding batu dibuat tebal di bagian bawah dan semakin tipis pada lantai atas.

Dinding batu yang mendukung beban tidak boleh dibuat dari batu setebal kurang dari satu batu. Seumumnya dinding di bawah satu batu hanya boleh berfungsi sebagai penutup atau pemisah ruangan saja. Demi penghematan semakin banyak sekarang orang membuat dinding bata¾ batu sebagai pemikul beban. Selama pondasi benar-benar stabil dan hanya dibebani atap rumah sederhana saja, hal itu masih bisa ditolerir. Tetapi untuk daerah-daerah yang aktif gempa bumi atau pun sangat kencang angin taufannya, dan untuk tanah yang rata-rata kurang kuat, hal itu harus dihindarkan.

d. *bahaya tekuk* biasanya diatasi dengan pemasangan pilar-pilar satu batu di antara dinding-dinding yang kurang dari satu batu, atau dengan dinding-dinding yang melintang. Susunan denah dinding pun sangat menentukan kemampuan dinding sebagai pemikul beban. Semakin banyak dinding-dinding melintang, semakin kuatlah susunan dinding bangunan, yang bersama-sama merupakan suatu struktur yang kuat menghadapi kekuatan-kekuatan horisontal, vertikal dan kekuatan tekanan.

Apakah dinding-dinding dibuat sebagai pemikul beban atau bukan, hal itu tergantung juga dari susunan balok-balok dan konstruksi atap diatasnya. Untuk rumah sederhana yang mempunyai kap kayu yang baik dengan muurplaat yang kuat, dinding tidak lagi memikul banyak.

Harus diingat juga, bahwa pilar/tiang batu-batu setebal satu batu sering hanya berfungsi sebagai pemikul kuat dengan kerja sama dengan dinding bata disekelilingnya atau di kanan kirinya.

e. Untuk daerah-daerah kita yang kaya gempa bumi, seyogyanya kita berusaha jangan memilih konstruksi dinding pemikul yang panjang atau luas, jika tidak dibutuhkan sungguh-sungguh. Sebaiknyalah kita pakai dinding di dalam kerangka. *(lihat gambar 66. Contoh dari Yunani. Lebih bagus lagi: gambar 35).*

Kerangkalah yang memikul, sedangkan dinding-dinding hanya bertugas sebagai pengisi dinding dan pemisah ruangan. Sehingga seandainya pun dinding diambil keluar, kerangka masih tetap kuat memikul beban dari atas. Tetapi sering kerangka bersama dengan dinding pengisiannya memikul beban. Dimana itu tidak diminta sungguh-sungguh, misalnya demi ekonomi pembiayaan yang kurang dan sebagainya, sebaiknyalah untuk daerah kita, fungsi kerangka dan fungsi dinding penutup ruang

dipisahkan saja. Itu pun menambah kesempatan perubahan-perubahan pada dinding yang sering harus kita lakukan dalam perkembangan pemakaian bangunan dengan aman.

15.2 Fungsi penutup atau pembatas ruangan

a. Fungsi penutup atau pembatas ruangan dapat kita lihat sehari-hari pada dinding. Pertama penutupan/pembatasan itu menyangkut penglihatan (visuil) sehingga berkat dinding manusia dapat terlindung dari pandangan orang lain yang tidak sepantasnya, sehingga kepribadian dan martabat manusia terjamin. Tidak segala hal dalam kejadian keluarga atau perorangan pantas dilihat dan tidak segala hal yang kurang sedap, misalnya jemuran pakaian atau tempat pembuangan sampah layak masuk dalam pandangan mata. Perlindungan terhadap pandangan orang yang tidak dikehendaki dalam bahasa Inggris disebut PRIVACY dan semakin bangsa kita menginjak ke peradaban kota yang padat rumah, privacy semakin menjadi soal yang perlu mendapat perhatian penuh.

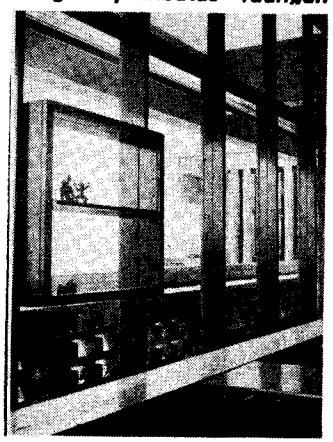
b. Dinding biasanya menutupi pandangan mata ke suatu ruangan, tetapi sebenarnya cara penutupan itu sendiri harus berkebudayaan juga. Dengan kata lain dinding itu sendiri juga harus sedap dipandang mata, tidak jorog atau menusuk perasaan halus. Dinding kamar-mandi WC pun harus bersifat demikian: menghalang-halangi pandangan mata, akan tetapi dengan cara yang indah luwes. Maka dinding selain bersifat pelindung privacy, sekaligus harus komunikatip juga, bersahabat dengan pandangan manusia lain.

c. Sering kita tidak perlu menutup sesuatu ruangan dengan dinding yang tak tembus pandang. Sering cukup pandangan mata disaring sedikit, dengan dinding kerawang-kerawang beton misalnya atau kerai, kisi-kisi, tirai semerawang dan sebagainya. Bahkan sering tembus pandang juga boleh, seperti dalam hal dinding atau panil kaca. Di sini pembatasan itulah yang terpenting, bukan penghalangan pandangan. *(gambar 167).*

d. Kerap kali kita butuh perlindungan juga terhadap bunyi atau suara-suara yang mengganggu atau sebaliknya agar suara di dalam suatu ruangan jangan keluar. Di sini pun dinding berfungsi sebagai penutup atau pun pembatas ruang pendengaran (auditip). Kita lalu memakai dinding pembatas yang seratus prosen mengurung bunyi atau hanya disaring diperlambut saja.

Sebaiknya pembatasan dan pengurungan bunyi diusahakan semaksimal mungkin, karena suara tetangga seumumnya tidak boleh didengar oleh tetangga lain. Batas pendengaran antara tetangga seumumnya tidak boleh kurang dari pada 48-50 foon (lihat pasal 8).

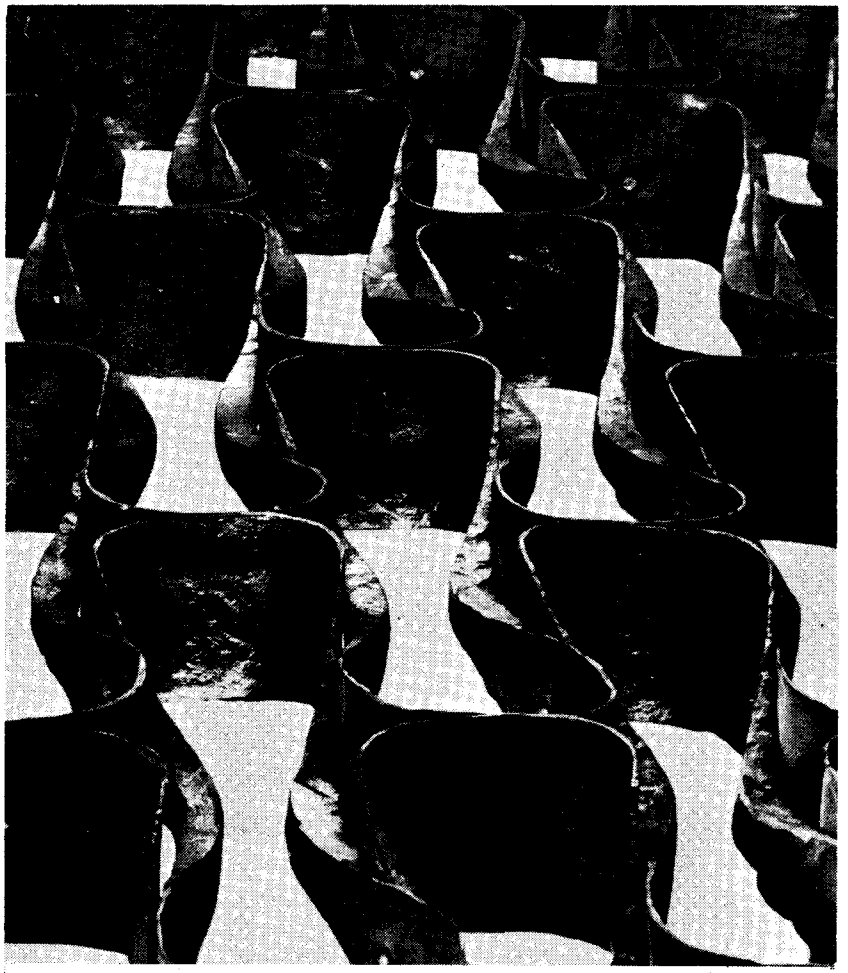
Gambar No. 167a: Dinding yang melulu berfungsi: pembatas ruangan belaka.



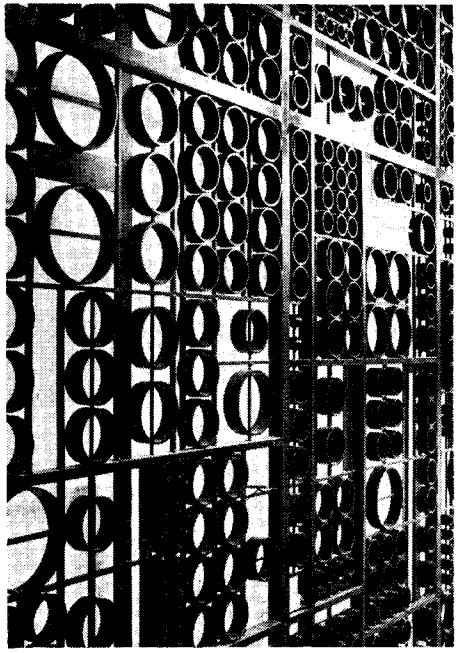
Gambar No. 167b: Dinding kaca memberi komunikasi sangat penting antara dunia dalam dan dunia luar. Oleh karena itu manusia modern yang terbuka hati, demokratis dan bercakrawala luas perhatiannya sangat suka memakai kaca selaku bahan dinding, yang menutup sekaligus membuka ruangan.

e. Selanjutnya pelajarilah sekian banyak kemungkinan antara lain fungsi hiasan, yang dapat kita manfaatkan dari dinding-dinding. *(gambar 168,169,170,171)*. Dinding dalam arti selaput pemisah ruangan belaka dapat kita pelajari contohnya dari gambar-gambar gaya ruangan Jepang *(gambar 172)*.

Dinding-dinding sejenis ini tidak harus rapuh. Tetapi keuntungannya yang terbesar adalah di saat gempa bumi, yang membuktikan diri peri hal keamanannya. *(gambar 173)*.

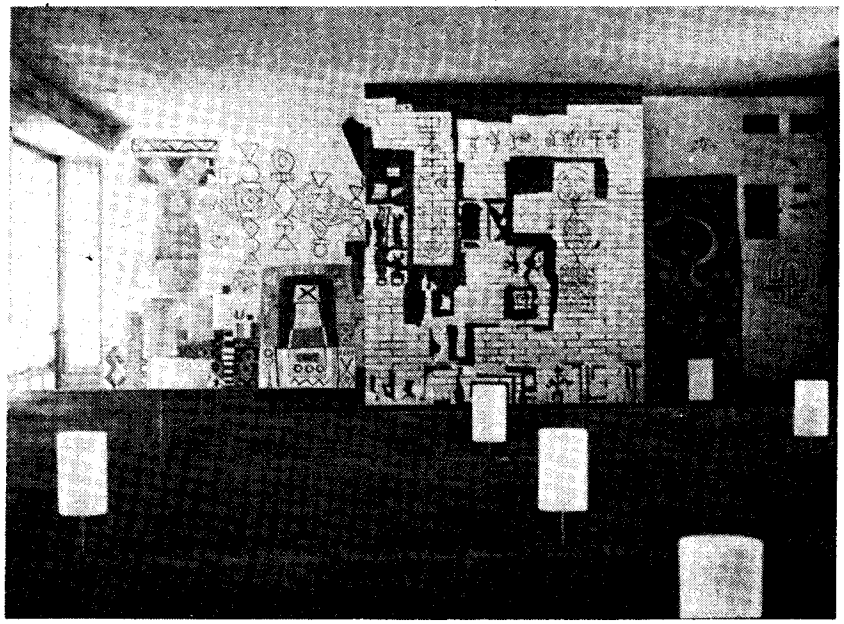


Gambar No. 168a: Dinding yang aman tidak harus mengerikan, bahkan bisa sekaligus dibuat sebagai perhiasan.

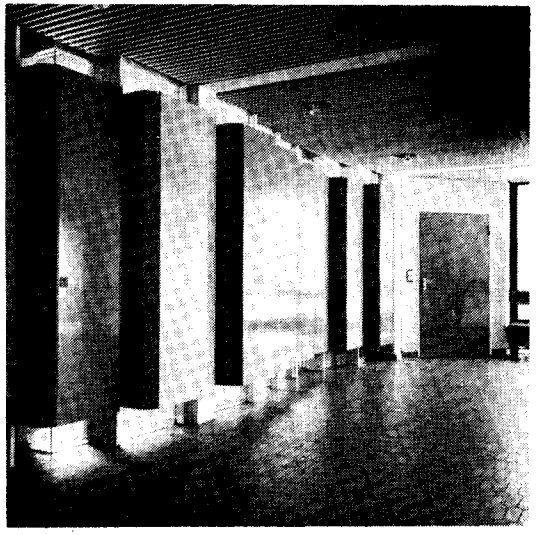


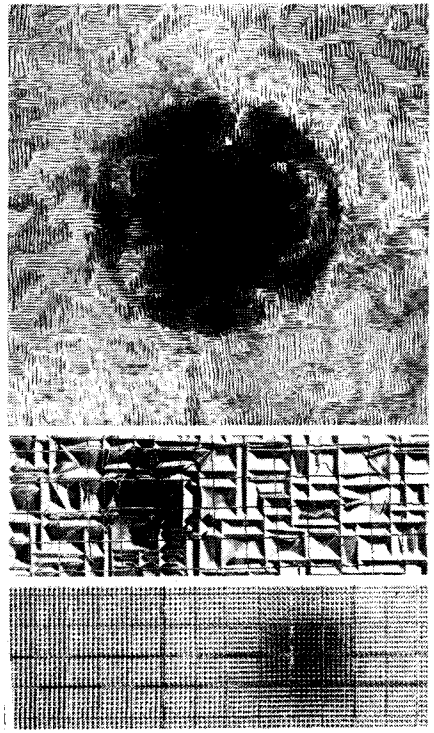
Gambar No. 168b

Gambar No. 169: Pemasangan batu bata dinding bisa hanya teknis fungsionil belaka, namun seperti dalam SD di Jerman ini bernilai budaya dan menanamkan jiwa yang luhur.

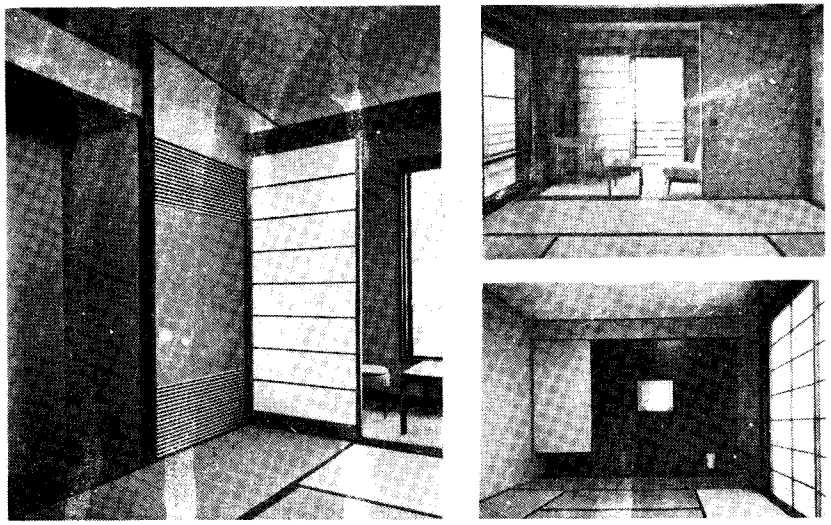


Gambar No. 170a: Dinding pun dapat berdwifungsi sebagai almari dan sebagainya. Cahaya di bawah almari memberi kesan ringan dan bersih.





Gambar No. 170b: Dinding-dinding kaca dengan bermacam-macam pola hiasan relief berfungsi ganda. Kaca bertulang kawat menambah kemampuan penjagaan keamanan.



Gambar No. 171: Beberapa gambar ruangan Jepang modern. Perhatikan kesatuan komposisi dan irama langit-langit dinding dan lantai. Dinding dalam konsepsi Jepang (dan Indonesia asli juga) sebenarnya bukan unsur benteng, melainkan selaput belaka.

Gambar No. 172: Rumah penduduk di pulau Kobror kepulauan Aru. Dinding yang dapat bernapas dan menafaskan ruangan dalam. Sistim sederhana tetapi sangat sehat. Kerugian hanya ada pada serangga-serangga yang nyaman hidup di antara anyaman gelagah-gelagah.

15.3 Fungsi keamanan

Akhirnya dinding selalu diartikan oleh manusia selaku unsur bangunan demi keamanan. Hal itu mudah dapat kita mengerti. Akan tetapi kita harus ingat, bahwa keamanan rumah tidak hanya tergantung dari kekuatan dinding, seolah-olah semakin mirip dinding benteng, rumah kita lalu dengan sendirinya aman.

Keamanan tergantung dari unsur rumah yang paling lemah, bukan yang paling kuat. Bila kita punya benteng yang sangat kuat dinding maupun pintu-jendelanya, akan tetapi ternyata bagian atap dan plafond mudah sekali dimasuki pencuri, maka sia-sialah saja dinding/pintu yang sangat kuat itu. Terlalu sering orang-orang kita terlalu banyak menilai kekuatan dinding sebagai ukuran terakhir akan keamanan, sehingga orang belum bisa puas sebelum punya rumah dari batu-bata. Kekuatan dinding hanyalah salah satu dari sekian banyak mata rantai keamanan bangunan-bangunan kita. Tetapi bukan satu-satunya dan bukan juga yang paling penting.

Jikalau kita punya rumah dengan dinding bambu misalnya, toh harta kita tetap bisa aman, karena disimpan dalam suatu peti yang sangat kuat dan yang sulit dihampiri pencuri tanpa kelihatan. Cara-cara lain masih banyak bisa dicari demi keamanan. Namun benarlah, bahwa dinding-dinding merupakan unsur keamanan yang wajar. Tetapi batu-bata belum tentu lebih menjamin keamanan dari bambu. Soalnya, membuat lubang dalam dinding batu-bata jauh lebih tidak kentara dan tanpa suara dari pada membuat lubang di dalam dinding bambu. Begitu juga banyak bank besar di luar negeri sekarang menempatkan almari hartanya tidak seperti dulu di ruangan di bawah tanah yang tak bisa dilihat orang luar, tetapi justru di ruang hall muka yang berdinding kaca, sehingga dapat dilihat oleh setiap orang yang lalu di jalan. Di sini dinding kaca ternyata lebih mengamankan dari pada dinding tebal di bawah tanah, karena psikologis, orang-orang khalayak ramai di luar bank ikut menjaga pula. Bila ada perampok ingin membuka almari uang itu, setiap orang yang lewat atau tetangga langsung bisa melihatnya dan segera bisa tilpon ke polisi. Dari sebab itu benarlah, bahwa bahan dinding yang kuat memuaskan sebagai pelindung keamanan, akan tetapi janganlah hendaknya kita menilai berlebihan kemampuannya sebagai penjamin keamanan. Begitulah dinding pagar halaman yang tebal tinggi dan rapat pandang belum tentu lebih aman dari pagar yang tembus pandang. *(lihat gambar 168,169).*

15.4 Masalah-masalah fisika bangunan dinding luar

a. Masalah-masalah fisika-bangunan yang menyangkut dinding-luar sudah kita perhatikan lebih dalam, (Pasal-Pasal 5-9). Kita harus waspada

menghadapi konstruksi-konstruksi baru yang semakin mendesak cara-cara lama. Apa yang dikatakan di sini tentang dinding luar berlaku juga untuk atap, lebih lagi atap-datar, tetapi tidak berlaku untuk dinding-dinding yang diletakkan di dalam rumah atau bangunan.

Dinding luar mempunyai beberapa fungsi pokok, yang berlaku untuk segala macam dan bentuk dinding dari bahan apapun, di luar fungsi pemikul beban yang sudah diterangkan dalam pasal-pasal yang lalu (dan yang lebih berkisar dalam bidang statika dari pada fisika-bangunan dalam arti yang khusus). Seharusnya bahan *dinding berlapis tunggal* diharapkan dapat menjawab tuntutan-tuntutan fungsionil dinding-luar. Akan tetapi hal itu jarang mungkin, karena sifat bahan tertentu boleh jadi sangat bagus mengatasi persoalan fungsi yang satu, tetapi kurang tepat untuk fungsi yang lain. Jadi orang terpaksa mengambil cara: beberapa bahan yang disatukan, sehingga bermacam-macam bahan dapat mengatasi secara bersama persyaratan sebanyak mungkin. Dengan kata lain, kita akan terdorong untuk membuat dinding-dinding yang terdiri dari pelbagai lapisan, atau *dinding-berlapis-majemuk*.

b. Dalam perkembangan teknologi yang sedang datang, dari pabrik akan ditawarkan bermacam-macam model dinding berlapis majemuk. Tetapi dari praktek kita sehari-haripun kita sudah bisa membuat sendiri dinding-dinding majemuk. Misalnya dinding batu-bata yang diplester dan dicat, papan-kayu yang dilapisi tir, dinding atas alias atap yang terdiri dari langit-langit dan penutup atap dan sebagainya. Tetapi yang dimaksud sebenarnya dalam istilah dinding berlapis majemuk ialah dinding yang berlapis-lapis secara langsung. Tetapi secara prinsipiil permasalahannya sama, karena dalam kasus atap konvensionil bertutup genting misalnya, hawa-udara di antara genting dan langit-langit bisa dianggap sebagai bahan dinding berupa bantalan hawa-udara.

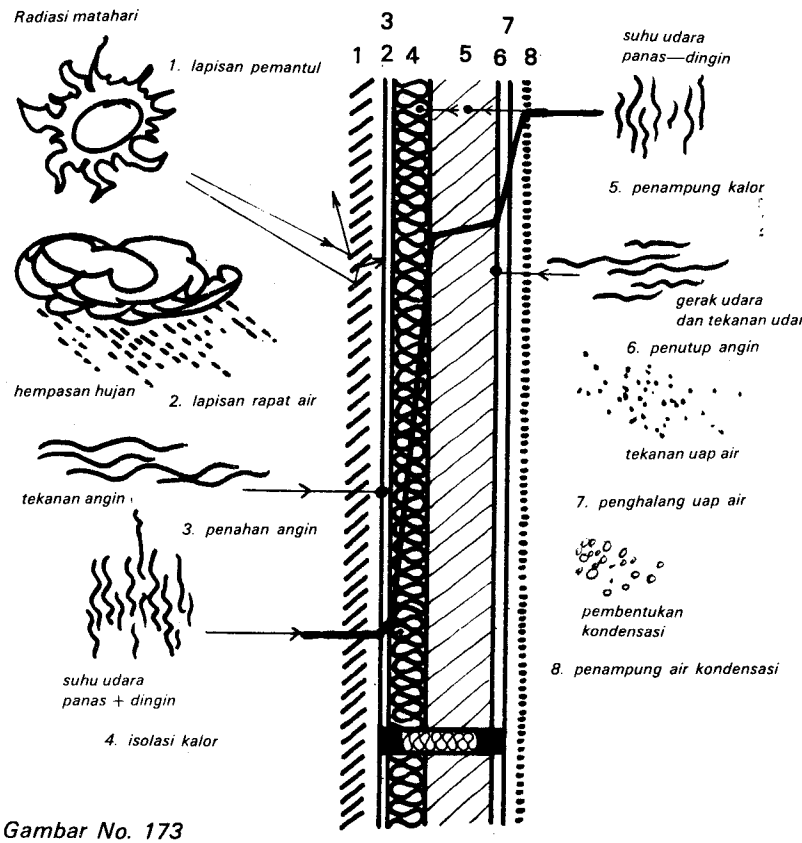
c. Tetapi untuk selanjutnya kita hanya akan membicarakan dinding-dinding berlapis majemuk yang lapisan-lapisannya melekat langsung atau hanya dengan jarak yang sangat pendek. Atau lebih tepat bila kita katakan, bahwa kita harus mengenal dulu fungsi-fungsi fisika bangunan apa yang dibebankan kepada dinding. Baru kita nanti menentukan kebijaksanaan, sistim dinding yang mana yang agaknya paling tepat untuk suatu keperluan atau tempat tertentu.

d. Pertama kita akan cenderung untuk mencari dinding-dinding yang setipis dan seringan mungkin, karena tentulah lebih ekonomis, terutama bila kita menghadapi masalah bangunan bertingkat-banyak atau kita tinggal di kepulauan agak jauh dari pusat-pusat perdagangan, sehingga faktor biaya pengangkutan sangat tinggi. Tetapi barangkali juga memanglah

dalam alam modern ini kita ingin fleksibel dalam pngaturan atau perluasan rumah dan sebagainya. Maka perlulah kita untuk mengetahui beberapa persoalan pokok fungsi dinding dari segi fisika bangunan.

15.5 **Fungsi-fungsi dinding luar**

Secara garis-besar dinding-luar harus mengatasi persoalan yang datang dari alam LUAR dan menjawab permintaan keadaan DALAM dari ruangan.



Gambar No. 173

a. Dinding luar menghadapi soal *radiasi matahari*. Maka dinding-luar harus bagus memantulkan kembali atau menyerap/meneruskan radiasi matahari dari luar, menurut kebutuhan. (lihat pasal 1). Di sini timbul soal cahaya-matahari. Hal itu menjadi penting, apabila dalam selera modern

sekarang ini, kita semakin senang dengan gaya-arsitektur terbuka dengan penggunaan bidang-bidang kaca yang luas.

b. Dari pihak lain, menghadapi persoalan *ruangan dalam*, kitapun dihadapi soal radiasi yang berasal dari sumber-sumber radiasi di dalam ruangan. Di dapur misalnya atau didalam kamar-tidur, perapian dan manusia merupakan sumber-sumber kalor juga. Begitu juga lampu-lampu bergelombang panjang maupun pendek. Di sini timbullah masalah kondensasi atau embun di luar atau di dalam ruangan, bahkan di dalam bahan dinding itu sendiri (lihat pasal kondensasi, pasal 2).

Maka perlulah di sisi dalam ada lapisan yang cukup higroskopis, artinya menyerap kelembaban pada saat-saat tertentu dan mengembalikan kelembaban itu pada saat-saat lain, tanpa menimbulkan air kondensasi.

Jelaslah, bahwa persoalan plesteran, cat atau lapisan kertas hias sebagai lapisan paling luar dari dinding yang ada di sisi di dalam ruangan bukanlah soal yang boleh diambil gampang. Plesteran beton misalnya yang mengganti plesteran kapur yang higroskopis, seperti yang dilakukan di dalam pembangunan sekarang, bukanlah soal netral belaka. Terutama bila kita membangun di daerah-daerah yang dingin di pegunungan dan lembah.

c. Masalah ketiga menyangkut soal suhu, penghalang kalor dan sebagainya yang datang dari *luar*. (lihat pasal 6).

Semakin dinding menjadi tipis, semakin kecil juga daya penghalang pemasukan kalor dari luar yang bisa membuat ruangan sangat panas. Dinding semen-asbes misalnya atau genting keramik yang tipis mudah sekali membuat ruangan menjadi panas bila tidak ditambahi lapisan penghalang panas yang efisien. (Ingat fungsi langit-langit dan rongga hawa-udara di antara langit-langit dan genting). Perhatikan juga, di mana sebaiknya lapisan isolasi panas dari luar itu diletakkan. Tidak di sisi dalam tetapi di sisi luar, di bawah dipasang penghalang kelembaban dan air hujan dari luar.

d. Masalah keempat masih menyangkut soal *suhu*, tetapi terhadap keadaan di *dalam* ruangan. Keadaan suhu di dalam ruangan sebaiknya jangan mudah tergoncang-goncang oleh pergantian suhu udara luar, siang atau malam. Juga bila dinding diisi yang langsung terkena matahari, dinding harus bisa mengatur atau merupakan bantalan "elastis" yang mengurangi kegoncangan yang sangat terasa bagi penghuni rumah. Dengan kata lain, dinding harus memiliki daya penampung kalor atau daya penggunaan kalor, agar pada saat suhu tiba-tiba menurun, ruangan tidak terlalu lekas menjadi dingin. Dan sebaliknya, bila suhu tiba-tiba naik, ruangan jangan terlalu cepat harus mengikuti suhu luar. (lihat pasal 6). Bila dinding

semakin tipis, hal itu sulit diatasi. Sebab, dinding teballah yang merupakan tempat penumpukan kalor dari luar atau pun tabungan kalor yang diperlukan dalam saat-saat dingin.

e. Dinding punya tugas juga melindungi penghuni atau barang-barang tertentu dari hempasan angin maupun hujan. Dalam soal ini, bahan dindinglah yang memegang peranan penting bersama dengan atap. Dinding kaca misalnya sangat bagus untuk melindungi ruangan dalam dari angin tanpa mengorbankan pemandangan keluar. Akan tetapi kaca sangat peka terhadap kotoran dan selalu harus dibersihkan agar tidak kelihatan kotor. *Ukuran kaca* harus diperhatikan untuk menahan daya tekanan/hisapan angin. Suatu diagram yang praktis untuk menentukan tebal kaca yang mamadai tekanan angin pada luas bidang tertentu dapat anda pakai sebagai pegangan. *(gambar 174)*. Tetapi hal itu selalu harus dicocokan lagi dengan pengalaman praktek, karena masalah konstruksi yang memakai kaca akan bersua dengan soal suhu, pemuaian dan sebagainya.

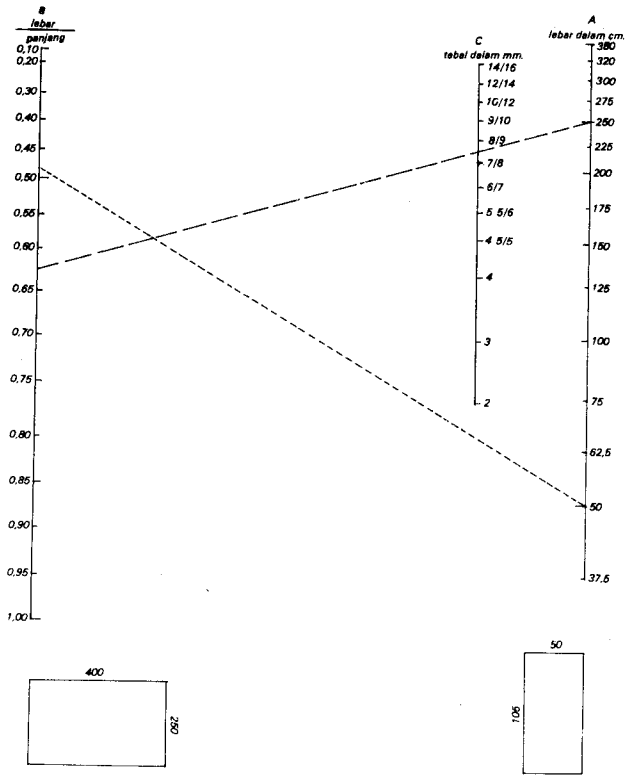
Sering dinding-dinding tua atau yang sudah sangat sulit diperbaiki perlu ditutupi dengan suatu "sarung" atau baju dinding kedap air seperti semen asbes, seng dan sebagainya. Perlu diperhatikan di sini ialah jalan *ventilasi* dan *peredaran hawa udara* di belakang "sarung" atau baju dinding tersebut.(lihat Pasal 2).

Hempasan hujan yang sering datang dengan sudut datar sekali dan menghembus ke dalam ruangan juga harus dihalangi oleh suatu dinding, walaupun tipis sekali pun. Disini kisi-kisi atau dinding-dinding yang tidak rapat bisa menghalangi hempasan juga, berkat konstruksinya yang khusus. (lihat Pasal 3).

Dinding-dinding yang terbuat dari bahan kayu dan yang kerap mendapat hempasan angin lembab atau hujan perlu dicat agar tidak lekas busuk. Selain itu bagian dinding yang bagus sebaiknya diletakkan minimal 60 cm di atas tanah, agar tidak terkena cipratan air-hujan dan menjadi sangat kotor/busuk. Dinding yang setengah tembus pandang dan yang bisa melindungi juga terhadap angin/hujan sampai taraf tertentu adalah rambatan-rambatan tanaman yang lebat, seperti bougainville dan sebagainya.

f. Masalah keempat masih menyangkut kelembaban ruangan yang ditutup oleh dinding luar itu.

Suatu lapisan penghalang arus kelembaban harus dipasang di dalam dinding, apabila suatu ruangan tertentu (misalnya tempat cucian atau ruangan kamar-mandi) terlalu basah dan banyak kemungkinan uap-air akan mengarus dari dalam ke dinding dan begitu bisa merusak dinding karena gejala kondensasinya. Itu selalu terjadi apabila di sisi luar yang



Gambar No. 174

Untuk menentukan tebal kaca jendela yang memadai, kita dapat mempergunakan pertolongan diagram ini:

1 = Carilah dulu pada kolom A: lebar (ukuran yang terpandak) dari kaca.

2 = Dalam kolom B carilah harga perbandingan antara lebar dan panjang.

3. = Hubungkan kedua harga pada kolom-kolom A dan B satu sama lain.

4 = Titik perpotongan garis penghubung itu menunjukkan tebal kaca yang dicari.

Catatan: *Berat kaca dalam kg/m² diperoleh dari hasil perkalian tebal (dalam mm) dengan 2,5. Jadi: berat kaca: 2,50 x 4,00 x 8 x 2,5 = 200 kg.*

Contoh 1): (persegi panjang yang kiri)

Lebar *(ukuran terkecil) adalah 250 m.* ***Perbandingan*** $\frac{\text{lebar}}{\text{panjang}} = \frac{250}{400} = 0{,}625.$

Carilah pada kolom A titik 250 dan pada kolom B 62⅝, dan hubungkan kedua titik itu dengan suatu garis. (di gambar: garis — — — —)

Pada kolom C garis itu memotong C pada titik 8.

Jadi tebal kaca yang dicari adalah 8 mm.

Contoh 2): (persegi panjang yang kanan)

Lebar = 50 cm. ***Perbandingan:*** $\frac{50}{105} = 0{,}48$

Dari penghubungan titik-titik oleh garis ..... kita temukan harga 2 mm.

Berat kaca adalah 0,50 x 1,05 x 2,5 x 2 = 2,63 kg.

merupakan daerah dingin (di malam hari) dipasang suatu lapisan penghalang angin atau kelembaban (air-hujan) yang terlalu rapat, sehingga mendekati kedap-air.

Hal itu tidak terjadi, apabila dinding dibuat homogen dan arus uap-air dapat langsung berdifusi keluar.

g. Masalah ketujuh menyangkut arus angin dari luar.

Terutama di tempat-tempat pegunungan tinggi yang berhawa dingin, arus angin yang merembes ke dalam melalui dinding dapat membuat ruangan sangat dingin. Ditambah dengan pengaruh konveksi hawa-udara di dalam dinding, daya penghangatan ruang bisa sangat menurun tanpa mudah dikontrol. Untuk mengatasi itu harus dipasang suatu lapisan rapat-angin di luar. Akan tetapi jangan terlalu rapat sehingga menghalang-halangi pernafasan dinding.

h. Masalah ke delapan masih menyangkut persoalan arus hawa udara, tetapi dilihat dari ruang-dalam. Jelaslah, walaupun dinding bertugas untuk menghalang-halangi angin masuk ruangan, akan tetapi di dalam daerah tropik lembab kita ini, dinding sekali-gus merupakan pengatur ventilasi yang mutlak perlu. Atau lebih tepat dikatakan: Kerapatan dinding harus kita atur, agar tetap memiliki bagian-bagian yang berlobang demi pengaturan pergantian hawa udara. Dari segi pandangan ini dinding bilik bambu benar-benar ideal. Dari pihak satu dinding bilik cukup melindungi manusia dari angin, akan tetapi masih memungkinkan ventilasi alami di dalam ruangan.

V

SOAL-SOAL KHUSUS

16. PEMILIHAN BAHAN-BAHAN BANGUNAN

16.1 Faktor-faktor penentu

Biasanya kita tidak bebas sama sekali dalam pemilihan bahan-bangunan. Baik dari segi ekonomi pembiayaan, kemungkinan-kemungkinan lokal yang tersedia serta pertimbangan-pertimbangan teknis-konstruktip lainnya atau pun kemampuan tenaga pekerja kita, tidaklah selalu bahan yang kita rasakan terbaik atau yang sesuai dengan selera kita, dapat kita pakai. Dalam soal pemilihan bahan mana yang seyogyanya kita pakai untuk bangunan kita, baiklah kita memakai pegangan seperti di bawah ini:

Tidak ada bahan bangunan satu pun yang hina, walaupun itu bambu atau tanah liat belaka. Harga yang tinggi atau kepuasan mode maupun sifat-sifat fisik yang bermutu tinggi bukan selalu garansi, bahwa juga bahan-bahan semacam itulah yang harus kita dahulukan. Kerap sekali bahan yang hebat sebenarnya keliru penempatannya dan mengungkapkan jiwa-budaya yang miskin. Sebaliknya kerap sekali bahan yang murah dan "bertaraf desa/kampung" benar-benar bermutu tinggi, baik teknis, ekonomis maupun dari segi kebudayaan. Bahan bambu misalnya yang dipakai oleh orang-orang desa kita tidak harus dan sayang seandainya disuruh ganti dengan bahan batu batako misalnya.

Bukan karena setiap rumah atau bahan bambu itu lebih "mulia" dari batu batako. Melainkan karena *INTEGRASINYA dalam keseluruhan gugusan pertimbangan banyak dimensi* harus kita perhatikan. Bahan bangunan yang baik dan betul pemakaiannya, ialah yang benar-benar serasi dan memang wajar dipakai di situ dalam keseluruhan susunan dan urut-urutan skala pernilaian. Memang ada rumah bambu yang jelek, tidak awet dan tidak sehat. Tetapi itu bukan karena bahan bambunya yang salah, melainkan cara pemakaian atau pengolahan/penempatannya kurang tepat. Oleh karena itu kita harus mau menerobos sampai inti-persoalan dan inti-bahasa bahan-bahan yang ingin kita pakai dalam bangunan.

16.2 Sifat fisik

Setiap bahan punya sifat fisik, *ciri-ciri kelakuan dan reaksi terhadap pengaruh-pengaruh luar, lagi punya bahasa masing-masing*. Kita harus teliti dan

jujur dalam pemakaian dan penempatan mereka. Kita harus menangkap apa koderat mereka dan daerah pemakaian mereka yang wajar. Batu alam misalnya ataupun batu beton memang bahan yang sungguh-sungguh kuat dan tahan terhadap daya tekan, akan tetapi tidak tahan terhadap daya-daya tarik. Oleh karena itu penempatan bahan batu juga harus cocok dengan sifat fisikalis itu: ditempatkan di tempat-tempat, di mana tenaga-tenaga tekan paling merajai. Dan jangan dijadikan misalnya batang-tarik sesuatu kuda-kuda.

Sebaliknya kabel baja sangat tahan terhadap daya tarik dan karena itu dipakai untuk tali-tali jembatan gantung yang bisa mengangkat beban sangat berat. Akan tetapi kabel baja tidak bisa dipakai untuk dijadikan tiang, yang harus menahan tenaga-tenaga tekan.

Tetapi kayu sangatlah luwes. Ia bisa bertahan dan baik dipakai untuk unsur-unsur bangunan yang mendapat beban tekanan, seperti tiang, alas dan sebagainya. Akan tetapi ia juga bertahan terhadap daya-tarik, sehingga batang tarik kuda-kuda dari kayu sangat tepat. Begitu juga terhadap daya lenturan ia cukup elastis, sekali pun terbatas. Namun ia kalah bertahan terhadap daya-tarik dari pada batang baja.

Seumumnya pemilihan bahan yang ingin kita pakai pertama harus menjawab pertanyaan pertama ini: unsur ini atau itu harus dapat bertahan terhadap daya tenaga apa? Daya tarik? Daya tekan? Daya lentur? dan sebagainya. Dan selanjutnya ditanyakan: dan berapa beban maksimal tarik-tekan-lentur yang tidak boleh dilampaui bila memakai bahan ini atau pun itu?

16.3 Peletakan dan peruntukan bahan

Begitu juga harus ditanyakan dulu, *di mana unsur bangunan itu akan diletakkan*: di atas? di dalam udara lepas dari tanah atau pegangan orang? Di atas tanah? Peka terhadap pegangan usil manusia atau anak? Di dalam tanah? Lembab atau kering? Banyak rayap atau serangga penghancur lain? Mudah sekali terbakar karena harus ditempatkan dalam dapur atau tidak? Dan sebagainya.

16.4 Ekonomi penyediaan bahan

Perlu ditanyakan juga, apakah bahan-bahan tertentu *mudah terdapat di dalam daerah* itu ataukah harus mencarinya jauh sekali? Apakah pertimbangan pengangkutan bahan itu jauh atau dekat? Seumumnya kita wajib memanfaatkan bahan-bahan yang paling dekat terdapat dalam suatu tempat.

Pemakaian bahan lain yang jauh dan mahal pengangkutannya mungkin bisa saja kita usahakan, akan tetapi dari segi kebudayaan arsitektur dan metode kerja jelaslah salah. Setiap pemakaian bahan asing dan yang sulit

didapat dalam daerah lokal, sekaligus akan menurunkan nilai arsitektural (kebudayaan) gedung tersebut.

16.5 Kemampuan tukang dan pekerja lokal

Ikut menjadi faktor pertimbangan ialah *kemampuan tukang-tukang dan pekerja lokal,* di mana bangunan itu akan didirikan. Sama dengan bahan asing di atas, pemakaian tenaga tukang asing yang berkelebihan menurunkan nilai budaya gedung itu dan sebenarnya tidak susila juga. Terutama bagi suatu negara yang banyak sekali pengangguran. Tetapi sering untuk tujuan-tujuan tertentu kita harus membawa tukang yang tidak "pribumi" untuk daerah pembangunan tertentu. Itupun harus selalu disertai dengan kebijaksanaan, agar hanya tukang-tukang inti saja yang memang sulit diganti, dipekerjakan sebagai "tukang impor". Sedangkan tenaga tukang/pekerja lainnya yang tidak mutlak demi kelancaran karya, harus kita ambil dari daerah lokal di situ. Selain dalam hal tenaga atau tukang, juga dalam hal teknik pengerjaan karya kita harus sejauh mungkin menyesuaikan diri dalam pemilihan bahan.

Itu tidak berarti, bahwa kita tidak boleh memasukkan teknik-teknik dan cara-cara pengerjaan baru atau pun memilih bahan-bahan baru yang belum lazim dipakai. Baik pemilihan bahan maupun pengolahannya kita harus progresip, selalu maju dan serba meremajakan, memperbaharui diri.

16.6 Pertimbangan ekonomi nasional

Akan tetapi kita harus tahu, latar belakang Ekonomi Nasional mana yang sebetulnya terkandung dalam suatu material atau teknik tertentu. Misalnya pemakaian konstruksi-konstruksi baja. Bahan besi dan baja untuk Indonesia selalu akan merupakan bahan impor yang mahal. Artinya: di dalam bahan baja ini sudah terkandung suatu industri dan sendi-sendi asing dari pada misalnya kayu. Memakai baja berarti mendukung seluruh kekuatan ekonomi dan industri di belakang baja itu, sedangkan memakai kayu setempat kita mendukung seluruh dunia ekonomi dan sosial masyarakat setempat. Untuk konstruksi-konstruksi baja kita tidak bisa memakai tenaga setempat, harus tenaga-tenaga "asing". Padahal bila kita mempergunakan kayu dengan harga yang sama dan kekuatan yang sama kita bisa memakai tenaga-tenaga sebangsa sendiri yang lapar akan pekerjaan dan nafkah. Pemakaian bahan baja dalam situasi seperti itu berarti melaparkan bangsa sendiri dan memperkaya orang asing lain. Demikian juga misalnya pemakaian tenaga tangan atau mesin diesel untuk mencampur beton yang sebenarnya bisa dikerjakan oleh sekian banyak tenaga penganggur yang mencari nafkah dengan kwalitas yang sama, bahkan biasanya lebih murah. Pertimbangan-pertim-

bangan semacam itu dalam pemilihan bahan bangunan beserta penggarapannya selalu harus kita perhatikan pada setiap situasi dan kondisi. Itu bila kita ingin membangun tidak hanya untuk keenakan kita sendiri, tetapi bersama dan di dalam kerukunan bangsa yang sama-sama sedang bergulat dalam pembangunan serba baru dan tidak mudah.

Tentu saja pertimbangan-pertimbangan teknik bangunan yang rasionil dan ekonomis harus mendapat tempat penting, akan tetapi itu bukan satu-satunya pertimbangan yang menentukan. Ada segi-segi kemanusiaan lain yang sama bobotnya dan yang harus kita jawab dengan perasaan solider.

Juga dalam hal pemilihan bahan dan metode kerja kita bisa kejam; bermental tidak rukun atau sebaliknya bisa penuh dengan rasa dharmasetia kemanusiaan.

Hal di atas juga berlaku dalam kebijaksanaan kita mengambil bahan-bahan bangunan ditinjau dari sudut keamanan dan kelancaran kontrak kerja. Proses pembangunan akan terhambat bila arus material ke pembangunan tidak teratur dan tidak menurut jadwal yang sudah ditentukan. Banyak kerugian bisa diakibatkan oleh kontraktor-kontraktor penjual bahan material yang tidak memenuhi janji. Dengan demikian pembangunan kita cenderung untuk mencari kontraktor penjual bahan yang bonafide dan selalu bisa menepati jadwal janjinya. Tetapi kontraktor sedemikian biasanya juga yang termasuk bermodal besar.

Jika prinsip ini kita teruskan konsekwen tidak terhingga, maka dengan sendirinya kita akan selalu menyisihkan orang-orang kecil dan menguntungkan kontraktor-kontraktor yang besar dan kuat. Jelaslah, bahwa pada suatu titik kita harus meninjau kembali kebijaksanaan, dan meneliti kembali, apakah betul bahan-bahan sederhana dari industri kecil itu SEMUA tidak bisa dipercaya? Memang seringlah sulit hal itu dapat kita ketahui, bila kita memang tidak pernah mau meluangkan waktu sedikit untuk menolong orang-orang kecil ini menurut kemampuan dan batas-batas yang tidak merugikan bangunan kita. Betul tidak wajar untuk bekerja hanya menurut perasaan. Akan tetapi suatu kebijaksanaan pembelian material yang tidak melihat aspek sosial dan kemanusiaan dengan sesama bangsa yang masih kecil, sebenarnya bukan di negara yang sedang berkembang tempatnya. Dalam soal ini pun kita punya tugas dan kewajiban.

16.7 **Ungkapan bahasa budaya dari bahan yang dipilih**

Pemilihan bahan harus selaras juga dengan *ungkapan bahasa apa yang ingin dilahirkan oleh sesuatu bahan atau konstruksi*. Misalnya bahan batu-alam selalu membahasakan keteguhan, kestabilan, sesuatu yang berat, padat, tahan serangan, benteng perlindungan dan sebagainya. Sedangkan kaca membahasakan sesuatu yang membatasi, namum terbuka, tanpa tedeng aling-aling, namun tidak campur-baur. Jendela berkaca menunjukkan sikap

penghuni yang memang juga demikian jiwanya, sadar ke dalam namun suka melihat ke luar. Bangunan dengan kaca-kaca besar dan luas jelas lebih mengesankan sikap pemakainya yang lebih terbuka dan mengharapkan kesatuan karya dengan orang-orang di luar gedung (kantor pelayanan masyarakat misalnya) dari pada benteng pertahanan yang jelas tidak akan memakai jendela-jendela kaca yang luas. Benteng akan memakai jendela-jendela yang sangat sempit kecil dan keseluruhannya serba tertutup dan memang bahasa yang diucapkan dalam bahan maupun pengerjaannya mengatakan sesuatu pertahanan, sesuatu permusuhan. Bahan yang dipakai tentulah beton-baja atau jendela berdaun baja, dan bukan kaca atau pun kayu. Begitu juga bahan yang dipakai untuk atap sangat berbicara. Atap dari seng atau dari sirap jelas menunjukkan dua dunia yang berlainan. Demikian juga pagar-halaman terdiri dari dinding tinggi rapat dan dari anyaman bambu-bambu yang jarang berlainan bahasanya. Setiap bahan punya bahasa masing-masing dan kita harus belajar peka terhadap warta dan watak bahan bangunan. Tidak semua bahan bangunan cocok dengan bangunan yang ingin kita dirikan. Bangunan Taman Kanak-kanak punya watak dan warta sendiri yang lain dari pada suatu paberik misalnya. Begitu juga masjid atau gereja ingin membahasakan di dalam bahan bangunannya, sesuatu yang tidak terdapat dalam misalnya hotel atau gedung bioskop. Pemilihan bahan untuk gedung-gedung semacam itu harus berhati-hati dan selaras. Dan seandainya pun dibuat dari bahan yang sama, seyogyanya penggarapannyalah yang berlainan. Demikianlah kita jujur dan berbudaya dalam membangun. Tidak asal pakai ini itu tanpa pertimbangan yang lebih rohani dan dalam. Barulah nanti kita akan menghayati, bahwa bahan dan bangunan pun punya bahasa masing-masing, punya warta, tentang tugas bangunan itu sendiri, namun juga tentang siapa dan untuk siapa bangunan dibuat.

16.8 **Kemungkinan pengontrolan dan pemeliharaan**

Salah suatu faktor pertimbangan penting dalam pemilihan bahan adalah juga faktor kemungkinan-kemungkinan pengontrolan dan pemeliharaan dalam jangka waktu sesudah pembangunannya. Ada bahan-bahan yang sangat bagus dan tepat bila dipilih dan dikerjakan dalam suatu pembangunan. Akan tetapi pemeliharaan selanjutnya bahan itu membutuhkan kontrol yang sangat teliti dan ketat. Apakah tidak lebih bijaksana untuk memilih bahan bangunan lain dengan cara pemeliharaan yang lebih sederhana dan tidak teramat peka terhadap erosi keawetan oleh perjalanan waktu? Hal-hal semacam itu sering praktis dituntut dari situasi dan kondisi suatu daerah yang jauh serta sulit dicapai. Terutama dalam keadaan kita masih kekurangan ahli dan tukang-tukang yang terlatih.

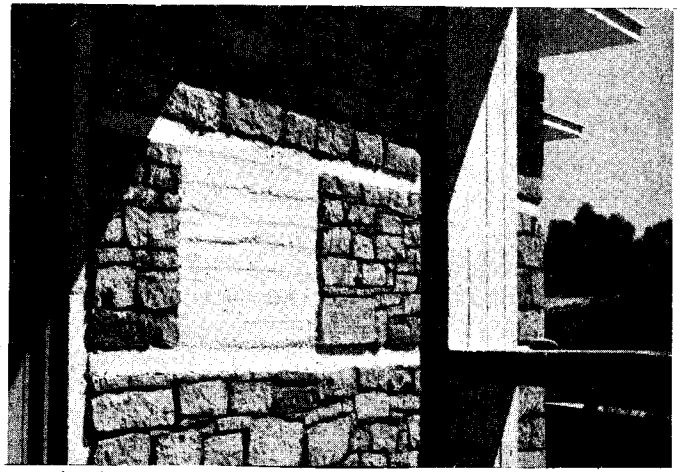
16.9 **Pertimbangan biaya**

Tentulah pertimbangan biaya sangat berpengaruh dalam pemilihan bahan. Biasanya orang memilih bahan yang memungkinkan biaya pembangunan rumah atau gedung menjadi sedikit mungkin. Akan tetapi mungkin juga faktor biaya di sesuatu ketika tidak amat dijadikan faktor sangat menentukan, melainkan misalnya hasil estetika seni bangunan. Hasil yang bagus dapat kita capai bila biaya yang mahal kita pusatkan pada salah sesuatu unsur bangunan dan tidak pada semua umsur bangunan, sehingga unsur yang mahal itu seolah-olah mengangkat keseluruhan bangunan ke atas. Walaupun pada kenyataannya hanya satu unsur itulah yang mewah, sedangkan lainnya sangat biasa saja. Dengan demikian bisa dicapai keseimbangan dan tercapailah efek yang maksimal dengan biaya yang cukup ditekan. Lain halnya jika biaya kita hamburkan pada seluruh detail dari bangunan. Maka biaya akan terlalu menjulang padahal efek "kemewahan budaya" tidak seberapa tampak.

16.10 **Indah = benar dan wajar**

Seumumnya yang kita cita-citakan bukanlah bangunan yang mewah dan menggemparkan, melainkan bangunan yang sederhana namun begitu menyinarkan nilai-nilai budaya yang anggun dan indah, sehingga di sini berlakulah kebijaksanaan yang berlaku untuk segala jaman: PULCHRUM SPLENDOR EST VERITATIS, keindahan adalah kecerlangan kebenaran. Bukan yang mewah atau mahal yang indah selalu, melainkan *yang benar yang wajar* itulah yang selalu indah.

Hal itu dapat kita lihat di seluruh alam-raya dan koderat dunia tumbuh-tumbuhan, hewan dan manusia. Kebenaran, kewajaran adalah sumber dari cahaya keindahan.



Pulchrum splendor est veritatis

17.0 **Faktor sosio-budaya bahaya kebakaran**

a. Bahaya kebakaran tergantung dari banyak faktor penyebab atau situasi yang mempermudah kebakaran serta penjalarannya. Orang sering mengira, bahwa bahaya kebakaran disebabkan karena bahan bangunan, kayu misalnya atau bambu, yang mudah terbakar. Tentulah anggapan itu tidak tanpa alasan. .

Akan tetapi pernahkah kita mempertimbangkan kenyataan, bahwa di desa, dengan rumah-rumah kayu dan bambu yang begitu sederhana, sangat jarang terjadi, bahkan hampir tidak pernah, ada rumah penduduk desa terbakar? Padahal tempat perapian dapur di desa biasanya serba terbuka. Menurut perkiraan akal sehat, seharusnya berulang-ulang pula rumah desa terbakar di musim kemarau. Namun aneh, hal itu jarang terjadi.

Ternyatalah bahwa betapa pun sederhana cara permukiman orang desa, mereka cukup bijaksana dan berhati-hati secara spontan, bila menghadapi api.

Di sinilah faktor *kebudayaan* menusia dan kecenderungan-kecenderungan dasar orang bertempat-tinggal ternyata memegang peranan yang pertama. Sedangkan di desa jarang ada rumah terbakar, hal itu berulang-ulang terjadi di dalam kampung-kampung kayu dan bambu di kota. Selain kepadatan penduduk dan perumahan kampung yang hampir selalu saling berhimpit, kecerobohan sangat menentukan timbulnya kebakaran.

b. Tentulah kita harus berusaha, agar konstruksi serta susunan rumah dan bangunan kita jangan mudah terbakar. Atau sebaiknyalah bahaya kebakaran kita tanggulangi secara *preventip*, menjaga sebelum terjadi. Lebih baik waspada sebelumnya daripada berusaha memadamkan api.

c. Bagi orang yang mampu, masalah kebakaran dalam bangunan sebenarnya bukanlah soal yang sangat sulit memecahkannya. Sebab orang mampu sanggup membeli bahan-bahan bangunan yang bebas jilatan api dan bisa mengusahakan sistim-sistim pemadam api dalam rumahnya yang efisien. Bahan batu-bata yang diplester, aluminium atau beton misalnya jelaslah bahan-bahan yang tahan api dan tak bisa terbakar. Akan tetapi

bagaimana dengan saudara-saudara kita yang kurang mampu? Yang praktis hanya bisa memakai bahan kayu atau bambu sebagai modal pokok pembuatan tempat-tinggal mereka? Pada hal kayu dan bambu tidak dapat terkalahkan sebagai bahan bangunan, baik dari segi teknis, keluwesan cara pengerjaan, keindahan maupun dari segi ekonomi nasional. Sebab, bukankah kita miskin dalam produksi baja yang masih diimpor atau langkah aluminium, sedangkan semen-asbes dan sebagainya, masih mahal harganya, akan tetapi kaya-raya peri hal bahan yang tiada taranya dalam efisiensi pengolahan serta jumlah persediaannya dalam alam? Yang secara cuma-cuma diproduksi terus-menerus oleh hutan-hutan tanah-air kita?

Untuk suatu negara yang begitu padat dan banyak penduduknya, lagi relatip masih miskin serta belum maju dalam ketrampilan tehnologinya, maka kayu dan bambu tergolong bahan-bangunan kelas tertinggi yang paling sanggup menjawab tantangan masalah permukiman yang murah namun layak maupun indah.

Akan tetapi bagaimana dengan daya tahannya terhadap jilatan api? Memanglah, semua bahan organik, termasuk kayu mudah terbakar. Artinya bila tidak merupakan suatu blok massa besar, tetapi hanya kepingan-kepingan atau potongan-potongan yang relatip kecil. Tetapi kayu yang besar dan masif yang terbakar, lekas membentuk lapisan arang di sisi luarnya yang terjilat api. Dan justru arang kayu inilah merupakan isolasi sangat bagus terhadap jilatan api. Sehingga sekali lapisan arang-kayu itu terbentuk, kayu di dalamnya selamat. Asal saja pemadaman api tidak terlalu terlambat datang. Lain soalnya dengan baja misalnya. Sekali baja terkena suhu tinggi, hilanglah segala bajanya dan lembeklah ia selaku bahan dan konstruksi pendukung. Dari sebab itu baja dalam bangunan tidak boleh telanjang, tetapi harus terlapis cukup tebal oleh beton atau oleh bahan-bahan isolasi suhu yang kuat.

Oleh karena itu perlulah kita menyelidiki beberapa sifat bahan bangunan yang terpenting, apabila terkena api. Oleh karena itu perlulah kita menyelidiki beberapa sifat bahan bangunan yang terpenting, apabila terkena api; juga mempelajari dulu pentahapan proses pembakaran bahan-bangunan.

17.1 Tahap — tahap pembakaran

Di dalam api, bahan-bahan bagunan mengalami *perubahan-perubahan fisik dan kimia*. Bahkan bahan-bahan organik harus kita perhatikan dari sudut daya pengaruh tambahannya yang sangat menentukan *bentuk* serta *luas penjilatan api*. Dan karena itu sangat mempengaruhi juga *jalan-jalan pengamanan* para penghuni dari kebakaran. (pembentukan asap dan sebagainya.) Setiap api mengalami dulu fase berkembangnya api dan penyebarannya, dari pusat awal mula kebakaran ke ruangan-ruangan lain.

Jika api dibiarkan mencari mangsanya, dan tidak kehabisan zat yang dibakar serta oksigen, maka api akan sampai pada *fase selanjutnya, ialah tahap api yang mulai awet nyalanya*. Dalam tahap ini jelaslah sistim konstruksi diuji seberat-beratnya dan jika memang tidak bisa menahan api, seluruh bangunan akan runtuh dan habis terbakar. Dari sebab itu kita harus berusaha, agar fase itu jangan tercapai, sebab sekali tahap nyala api mulai stabil dan awet, api sudah sangat sulit, atau hampir tidak bisa lagi dipadamkan sebelum segala-gala yang bisa termakan api habis musnah.

Kedua tahap itu (penjilatan api dan fase nyala awet) penting kita perhatikan dalam usaha kita, baik dalam penanggulangannya secara preventip maupun dalam usaha penyelamatan sesudah api timbul dan menjalar. Sebab, dalam kebakaran, saat-saat pertamalah yang paling penting. Setiap menit sangatlah berharga dan dapat menentukan hidup-mati penghuni di dalam gedung. Walaupun akhirnya nanti gedung terbakar habis, akan tetapi *fase saat-saat pertama demi penyelamatan* merupakan *faktor pertimbangan yang paling penting*. Apa guna bangunan akhirnya bisa diselamatkan, akan tetapi penghuninya sudah tercekik gas-gas berbisa pada saat-saat awal kebakaran?

b. Dari sebab itu kita harus mempertimbangkan paling sedikit lima hal dalam pemilihan bahan bangunan:

1) Bagaimana sifat bahan. Mudah, sulit atau sedang-sedang saja bisa *dijilat api* dan terbakar?
2) Bagaimana *jalan perambatan* nyala lidah api, bila bahan sudah terbakar.
3) Bagaimana api itu sendiri sebagai keseluruhan *berkobar*, mudah, dahsyat atau sukar berkobar.
4) Bagaimana bahan itu sendiri terhadap *kenaikan suhu dan jilatan api* unsur lain, dapatkah ia berfungsi sebagai *perisai?*
5) Bagaimana pembentukan *asap dan gas-gas* dari bahan, bila ia terbakar?

c. Sangat penting juga ialah pertimbangan ini.

Pernilaian ketahanan terhadap api tidak cukup dilihat pada bahan itu sendiri dalam keadaan lepas atau selama belum terpakai. Kita harus meneliti juga bagaimana perangai bahan-bangunan tersebut bila sudah dipasang sebagai unsur dari suatu pasangan konstruktip. Dalam keadaan belum terpakai di gudang, memang sesuatu bahan-bangunan bisa bertahan, akan tetapi dalam kedudukannya sebagai panel misalnya atau dalam kombinasinya secara konstruksi sangatlah mungkin bahan tadi bahkan mudah sekali terbakar. Kayu gelondongan besar misalnya ditumpukan pada toko kayu bisa saja sulit terbakar penuh dan nyala api tidak mudah menembus isolasi arang-kayu di permukaan kayu gelondong itu. Akan tetapi bila ia sudah terpasang sebagai panel tipis dari tripleks,

jelaslah kayu tadi dalam bentuknya yang begitu tipis, sangat mudah menjadi mangsa api. Demikian juga letak unsur bangunan penting, apakah mudah terhembus angin atau tidak. Penyusunan bahan karet dan sintetis yang mudah terbakar perlu mendapat perhatian yang saksama. Jadi bagi perencana tidaklah cukup mengetahui sifat bahan dari segi pembakaran, namun penyusunannya juga.

17.2 **Penggolongan bahan-bangunan dari segi bahaya kebakaran**

Dari segi sifat-sifat bahan terhadap api dan kebakaran, kita dapat menyusun bahan bangunan menurut penggolongan di bawah ini:
Terdiri dari empat golongan besar: Bahan-bangunan dilihat dari segi
a) Tugas *konstruktip*
b) Mudah-tidaknya bahan *terjilat api*
c) Baik-buruknya bahan sebagai *pelindung* terhadap bahaya kebakaran
d) *Dekoratip*

Pembagian ini tidak eksklusip. Bahan dari golongan satu (aluminium misalnya atau kayu) bisa berfungsi sebagai bahan dekoratip dan sebagainya dan karenanya daftar tersebut hanya dimaksud untuk mempermudah pertimbangan kita dalam pemilihan bahan.

Keterangan:

a. Konstruksionil

Strukturil Baja
Aluminium
Beton
Batu-bata
Batu-alam
Kayu

Bukan strukturil ——— Baja
Aluminium
Beton
batu-bata
batu-alam
kayu

— pelat-pelat — Asbes (asbes-semen)
Sekaman kayu campur semen
plesteran, gips dan sebagainya
plywood
panel-panel butiran-butiran
pelat serabut serat (kaca kelapa)
pelat kardus (hardboard)

b. Isolator ——— serabut: serabut gelas
mineral
asbes

——— busa: kaca gelembung
semen gelembung
plastik gelembung (Polystyrene, Polyurethane PVC)

c. Pelindung: asbes semprotan
plesteran ringan
pencatan (coating) pemadam api

d. Dekoratip: Cat
selaput (film)
penempelan muka (facing).

Keterangan tentang 17.2 a

1) *Batu alam dan batu bata*

Batu alam dan batu-bata tergolong bahan bangunan yang sudah lama sekali dikenal oleh manusia selaku bahan konstruksi. Batu-bata yang kompak padat sangatlah stabil terhadap api dan cukup memuaskan menahan api dan panas. Suhu setinggi perapian selama pembakaran 6 jam pun tidak dapat menghancurkannya. Batu-bata berlubang seperti yang banyak dibuat sekarang, tidak begitu tahan dan mudah dipahami, bahwa semakin besar lubangnya, semakin lemah pula daya-tahan dinding batu-bata itu.

Seumumnya ketahanan bata terhadap api *tergantung dari kepadatan* batu-bata itu. Semakin berpori, semakin lemah pula batu-bata. Batu-alam sangat tahan terhadap api. Akan tetapi disebabkan suhu tinggi, batu-alam yang padat dan keras mudah pecah. Begitu batu-alam yang terkena kebakaran bisa menimbulkan kerusakan karena gejala-gejala samping, seperti perpecahan atau keruntuhan dan sebagainya. Angker-angker besi di dalamnya dapat menimbulkan keretakan-keretakan juga karena koefisien pengembangannya tidaklah sama dengan batu.

2) *Beton*

Beton banyak dipakai selaku unsur konstruksi pendukung. Dalam suhu tinggi beton kehilangan kekuatannya sangat banyak dan bila sudah mendingin lagi, sisa kekuatannya lebih rendah lagi. Sehingga bagian-bagian beton pendukung itu setelah kebakaran perlu mendapat tambahan kekuatan. Beton yang dibuat dengan campuran-campuran silikat juga lebih getas dan rapuh dalam kebakaran. Kerapuhan atau kegetasan itu tidak ada dalam konstruksi-konstruksi beton yang memakai kapur atau campuran-campuran ringan lain. Tetapi ketahanan serta daya-dukungnya selalu ditentukan oleh kekuatan tulangannya pada bagian-bagian yang terkena tarikan dan yang mendapat titik-kritisnya pada sekitar 400°C untuk

baja pers dingin dan 550°C untuk baja gilingan panas. Itu masih tergantung juga dari tebal beton yang menutupi tulangan baja dan yang ternyata sangat penting selaku isolasi panas.

3) *Baja*

Baja yang dipakai selaku unsur konstruktip tidak tahan terhadap penjamahan api bersuhu tinggi secara langsung. Kekuatannya sangat menurun. Oleh karena itu konstruksi baja harus dibalut atau diselubungi bahan isolasi panas, agar jangan mencapai suhu kritis sekitar 400°—550°C tersebut.

Baja banyak dipakai juga dalam unsur-unsur bangunan lain yang tidak berfungsi konstruktip. Walaupun baja di situ tidak berpengaruh terhadap daya pendukung bangunan, akan tetapi pengembangan unsur-unsur baja dan deformasi karena panas sangat merusakkan banyak unsur-unsur hubungannya.

4) *Aluminium*

Aluminium sekarang banyak dipakai sebagai unsur bahan bangunan. Karena suhu-kritisnya lebih rendah dari pada baja (300°C) maka ketahanannya terhadap api tidaklah banyak. Dijilat api selama 20 menit aluminium sudah rusak. Selain itu aluminium seperti baja pun merupakan penghantar kalor yang baik, sehingga di dalam keadaan panas, bahan tersebut ikut mendorong menyebar-luaskan kalor.

5) *Kayu*

Kayu selaku bahan organik mudah terbakar. Tetapi bisa dicat atau diselubungi bahan lain, sehingga tidak mudah langsung terjilat api. Namun kayu masip, sekali terkena api dan menjadi arang permukaannya merupakan bahan yang cukup bertahan terhadap api. Lapisan arang itulah yang menjadi isolator yang menghalang-halangi api lebih masuk lagi ke dalam. Maka dalam kayu yang masip selalu ada suatu bidang demarkasi yang cukup jelas, kapan api akan berhenti dan tidak membakar kayu di bagian dalam. Itulah keuntungan kayu bila dibanding dengan baja, beton dan sebagainya selaku bahan konstruksi. Sedangkan baja atau beton yang langsung terkena api bersuhu tinggi, sesudah kebakaran padam, sudah tidak bisa terpakai lagi selaku unsur pendukung, kayu-kayu masip dan tebal yang sudah terselubung lapisan arang kayu masih tetap utuh kekuatannya. Dari sebab itu balok-balok kayu seyogyanya pada pembangunan pertama diberi ukuran-ukuran yang lebih besar sedikit. Nanti bisa dikerok arangnya dan seumumnya masih bisa terpakai kayu bagian dalamnya. Asal kebakaran tidak terlalu merusak keseluruhan bangunan. Namun itu tidak berlaku untuk unsur-unsur kayu yang tidak masip. Unsur-unsur panel yang tipis dan sebagainya tentu saja mudah menjadi mangsa api. Tetapi pintu kayu yang baik misalnya, masih dapat merupakan perisai yang bagus demi penyelamatan jiwa penghuni.

6) *Bahan plastik*

Semakin banyak bahan plastik dipakai sekarang sebagai unsur-unsur bangunan, karena harganya memang relatip murah, ringan dan memang praktis penggunaan serta pemeliharaannya. Lagi untuk dekorasi ruang cukup luwes. Tetapi banyak bahan plastik mudah terbakar dan lebih buruk lagi, selama pembakaran mengeluarkan gas-gas beracun untuk manusia. Asap pembakaran bahan konvensionil seperti kayu misalnya memanglah menghambat usaha-usaha penyelamatan orang, akan tetapi asapnya tidak sangat berbahaya. Tetapi gas-gas yang keluar dari banyak bahan plastik unsur-unsur bangunan dan perabot rumah, alat televisi, transistor, kulit penutup mebel, busa karet sintetis dalam kasur dan sebagainya ternyata banyak sekali beracun.

Produk-produk bahan plastik yang mengandung *nitrogen,* busa polyether untuk bantalan kursi misalnya dapat mengandung oksida nitrogen dan cyanida hidrogen.

Dalam suhu 1000°C duapertiga dari nitrogen dalam busa polyether dapat diubah menjadi cyanida hidrogen. Demikian kotak-kotak TV dan bahan-bahan plastik bermutu lainnya mengandung campuran-campuran bahan sintétis yang sangat kompleks dan dapat mengeluarkan gas-gas beracun yang belum terkenal bila terbakar. Demikian juga "seng-seng" plastik dan unsur-unsur yang dipakai di atas ruangan kamar, dapat membentuk "hujan" plastik terbakar yang sangat mempersulit penyelamatan penghuni. Produk-produk bahan sintetis pada saat ini memang begitu banyak dan bermacam-macam rumusnya, sehingga sangatlah sulit bagi kita untuk mengetahui, bahan mana yang baik dari segi pengurangan bahaya kebakaran.

Yang jelas bagus sifatnya dalam ketahanannya terhadap api dan sukar juga menjadi penghantar api ialah serabut-serabut bahan gelas, serabut bahan mineral, asbes, semen dan busa-busa phenolik. Tetapi bagi kaum awam, orang sulit memperbedakan busa-busa phenolik dari busa-busa bahan plastik lain.

Oleh karena itu yang paling baik dikerjakan oleh perencana-perencana ialah: bahan-bahan penutup yang mudah terbakar (teristimewa yang tergolong busa polyurethane dan polystyrene yang digelembungkan) hanya boleh dipasang langsung pada unsur-unsur pembawa yang tidak bisa terbakar (aluminium misalnya atau batu-bata) dan ditutup oleh bidang plesteran kapur, gips atau semen minimum 12 mm. Di sini tidak boleh ada jarak antara bahan sintetis semacam itu dengan unsur pemegang atau penutupnya.

Bila kita terpaksa harus memakai bahan-bahan plastik yang mudah terbakar itu, sebaiknya dipasang secara terpisah-pisah oleh bahan-bahan lain

yang tidak mudah terbakar, sehingga kebakaran satu bagian tidak dapat atau paling sedikit sulit menjalar ke bagian lain. Mudah-mudahan melalui perkembangan teknologi bahan plastik kelak dapat disusun dengan sifat-sifat yang tidak mudah terbakar. Sebelum itu tercapai, sebaiknya kita berhati-hati memakai bahan plastik.

7) *Pelat-pelat bangunan*

Sekarang semakin banyak dipakai pelat-pelat sebagai unsur bangunan, yang terbuat dari pelbagai material. Mereka dipakai untuk panel penutup dinding, untuk langit-langit, dinding-dinding pemisah, dan juga untuk pelindung bagian-bagian yang terbuat dari baja. Bahan yang dipakai dapat digolongkan dalam dua jenis, yakni bahan-bahan organik (yang mudah terbakar) dan bahan-bahan bukan organik. Bahan sintetis atau plastik mengandung banyak *karbon hidro* dan karenanya mudah sekali terbakar seperti bahan-bahan organik.

Bila pelat-pelat kayu masip atau plywood dipasang dalam suatu bingkai dari logam, seperti besi atau aluminium, maka bingkai-bingkai itu merupakan penghantar kalor yang baik dan karenanya mempermudah pembakaran panil-panil kayu. Panil-panil dari bahan yang tak mudah terbakar seperti asbes semen biasanya dapat bertahan baik, asal pembingkaiannya cukup kuat. Tetapi tidak lebih dari dua jam, karena suhu yang tinggi dalam waktu lama akan mengakibatkan perubahan-perubahan bersifat kimia pada bahan itu.

Maka perlu kita tahu batas "umur" mereka dalam keadaan terbakar.

bahan	tebal	batas ketahanan dalam pembakaran
hardboard	3 mm	2 menit
plesteran	19 mm	30 menit
sekaman kayu dengan semen PC	75 mm	60 menit

Juga letak pelat-pelat itu ikut menentukan ketahanannya. Misalnya pelat yang dipakai sebagai penutup dinding vertikal lebih bertahan dari pada yang dipakai untuk langit-langit dengan kedudukan horisontal. Itu ada hubungannya juga dengan tempat-tempat pemakuan dan pertambatannya pada kerangka pendukungnya yang mudah lepas atau hancur terkena suhu tinggi. Pelat-pelat isolasi panas digunakan juga untuk melindungi beton-baja atau unsur-unsur baja. Biasanya yang dipilih ialah pelat-pelat asbes semen, plesteran-plesteran tebal atau bahan-bahan baru lain yang terdiri dari butir-butir *vermikulit* atau *perlit* yang dilim oleh suatu bahan perekat khusus atau semen PC biasa. Khusus bahan-bahan gelas semakin banyak dipakai karena sifat-sifatnya yang sangat memuaskan.

b. Isolasi

Bahan isolasi kalor (demi perlindungan baja misalnya) yang lazim dipakai tergolong dari jenis serabut gelas/kaca dan mineral. Bahan-bahan serabut gelas lebih rendah titik melelehnya (sekitar 600°C) dari pada bahan-bahan mineral. Serabut-serabut halus itu dilim bersama dengan bahan-perekat jenis resin dan mempunyai kepadatan sekitar 48 kg/m^3 sampai 240 kg/m^3.

Bila bagian campurannya yang terbuat dari bahan organik atau plastik kurang dari pada 5% dari seluruh bahan, maka itu masih bisa disebut tak bisa terbakar. Tetapi seumumnya toh bahan-bahan yang di pasaran harus dianggap bisa terbakar. Bahan sering diperkuat oleh suatu tulangan kawat besi atau logam lain dan biasanya diberi kulit luar dari kertas (yang tentu saja mudah terbakar).

Ada bahan yang bagus, tetapi mahal juga, ialah jenis alumino-silikat yang dapat menahan suhu sampai setinggi 1000°C.

Bentuk bahan isolasi panas yang lain tidak berbentuk serabut, tetapi busa. Busa yang bagus ialah beton busa yang selain merupakan penahan panas yang baik, ringan juga bila dibanding dengan pelat-pelat beton yang padat. Akan tetapi beton busa sudah mulai rapuh pada suhu 500°C dan dapat hancur menjadi abu bila mendingin kembali.

Bahan busa lain ialah bahan-bahan sintetis seperti polystyrene, polyutrethane dan PVC. Tetapi seperti yang diterangkan di atas, bahan sintetis tidak selalu aman dan baik dipakai, berhubungan dengan kemungkinan besar pengeluaran gas-gas beracun apabila terbakar.

Seumumnya isolasi-isolasi berbahan sintetis hanya isolasi panas yang tidak ada jilatan apinya. Tetapi dalam suhu 100°C bahan-bahan plastik itu sudah mulai lunak bahkan mulai hancur.

c. Bahan pelindung

Oleh karena itu bila diminta suatu bahan yang dapat melindungi unsur-unsur bangunan terhadap api, maka sampai sekarang bahan yang *paling baik hanyalah asbes,* baik sebagai perban serabut atau semprotan butir-butiran halus dari asbes. Selain asbes, bahan vermikulit dan perlit sudah menunjukkan daya-perisai yang memuaskan. Sebaiknya asbes atau vermikulit/perlit itu dipasang pada unsur bangunan dengan perkuatan logam atau kasa-kasa, agar dalam keadaan kebakaran mereka tidak lepas.

d. Bahan-bahan dekoratip

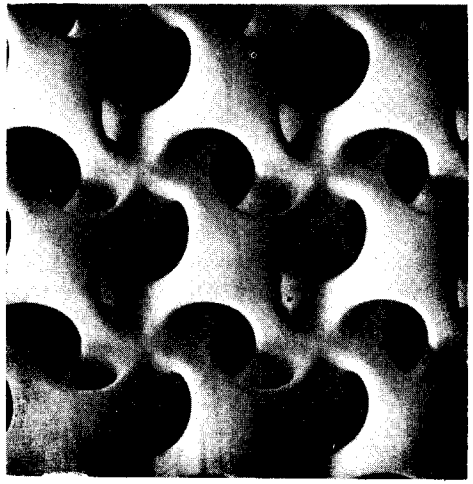
Semakin banyak juga masuk dalam pasaran bahan-bahan berupa cat, yang berfungsi baik sebagai bahan pelindung terhadap api maupun merupakan cat hiasan sekaligus. Bahan-bahan ini tipis dan tugasnya hanyalah menghalang-halangi penjalaran api atau memperlambatnya (flame retardant-paint). Bahan yang disebut Oksida antimonium menghalang-halangi

api dan sering dikombinasi dengan yang disebut halogen. Halogen adalah unsur yang cepat bereaksi dengan logam dan banyak unsur lain serta yang berakibat pembentukan garam-garam. Keluarga halogen terdiri dari lima unsur non-logam, fluorine, chlorine, bromide, iodine dan astatine.

Bagaimana persis mekanisme pemadaman api oleh bahan-bahan pemadam halogen belumlah jelas sekali. Tetapi rupa-rupanya di sini bekerja suatu proses bukan fisik melainkan kimia. Pemadam halogen dijual dalam bentuk cairan dan sesudah keluar dari tabung menjadi gas. Gas-gas itu lebih berat dari pada udara dan berakibat penurunan suhu.

Cat-cat dekoratip yang sekaligus merupakan pemadam atau penghalang api mengembang bila terkena panas dan membentuk semacam kerak rumah lebah-lebah setebal 1–2 cm yang selanjutnya melindungi lapisan-lapisan di bawahnya.

Efisiensi cat-cat pelindung ini tergantung pada kuat-tidaknya cat melekat pada bahan yang harus dilindunginya.



Kerawang 3 dimensional dengan bahan beton. Kuat namun berkesan ringan.

18. MASALAH STATIKA ELEKTRO BANGUNAN

18.1 Segi comfort dan kesehatan

a. Sering orang mengeluh tentang suatu bangunan atau ruangan yang disebut angker, karena orang yang menghuninya di situ mudah merasa lemas atau pening-kepala, tidak enak badannya dan sebagainya. Pada hal sudah diteliti dari banyak segi pertimbangan, angin, suhu, iklim daerah dan lain-lain tidak ada apa-apanya. Demikian maka orang lekas mengira, bangunan atau ruangan itu "angker" atau didiami iblis, roh-roh jahat. Ketakutan sebenarnya dapat dihindarkan atau ditenteramkan, bila orang sedikit mengerti tentang *faktor elektro statis* bumi/tanah, di mana bangunan itu didirikan.

Memang ternyata, bahwa beberapa lokasi benar-benar aneh sekali, membuat orang sakit, pening dan sebagainya. Dan terutama bagi mereka yang sudah punya kelemahan sakit saraf hal itu sangat terasa. Tetapi itu tidak datang dari roh-roh yang angker. Biasa saja: dari susunan medan elektro-statis yang kebetulan berpengaruh pada tempat itu. Kita tahu, bahwa dalam tubuh manusia unsur elektro sangat berperanan, terutama dalam susunan saraf dan otak kita. Bahkan setiap benda fisik, termasuk tubuh manusia, tidak bisa lepas dari susunan dan hukum-hukum elektro-statika dan magneto seumumnya yang jelas sangat kompleks, halus, tidak bisa dilihat dengan mata atau diukur begitu saja. Betapa peka tubuh manusia terhadap pengaruh listerik dapat kita rasakan bila tubuh kita tersentuh aliran listerik. Tetapi juga muatan-muatan serta medan elektro-statika yang kecil bisa berpengaruh terhadap tubuh. Jikalau pengaruh itu kecil, maka kesehatan belum terganggu, namun toh dari segi rasa kenikmatan, ada sesuatu yang terasa tidak enak, walaupun orang belum bisa menerangkan mengapa.

b. Bumi kita terdiri dari banyak lapisan zat dan unsur kimia dan arus-arus air di bawah tanah yang banyak sekali dan tidak nampak. Anekalah susunan kepadatan dan rongga tanah, sehingga bangunan-bangunan kita yang berdiri di atasnya tentulah tidak netral begitu saja, di semua tempat sama. Mungkin kebetulan sekali pada sesuatu tempat keadaan tanah dan beberapa arus air di bawah tanah menyusun sesuatu keadaan tertentu, sehingga justru di suatu tempat tertentu perpaduan dari daya-daya elektro-

statika tanah dan benda punya pengaruh yang cukup terasa oleh beberapa orang yang peka, yang memang sarafnya terlalu halus atau memang sakit saraf. Bagi yang lain mungkin masih di bawah ukuran gangguan. Tetapi orang lalu lekas menamakan tempat itu tempat angker. Hal itu bisa dipahami, karena memang orang merasakan rasa tidak enak itu bukan khayalan (atau separoh khayalan) tetapi dari pihak lain tidak tahu dari mana asalnya. Tetapi dari praktek ternyata, bahwa sesudah letak tempat tidur digeser atau dipindah, masalah perasaan sakit atau tidak enak tadi hilang juga. Hal itu ternyata sangat tergantung dari keadaan fisik dan psikis yang berlainan pada setiap orang, sehingga dalam masalah ini kita praktis belum punya pegangan yang jelas.

Memang bidang ini sampai sekarang sudah cukup banyak diteliti oleh para ahli. Akan tetapi hasil-hasil yang bisa diandalkan untuk dijadikan pegangan secara ilmiah sangatlah sedikit.

Tetapi yang jelas banyak masalah "angker" dalam bangunan yang samasekali bukan angker. Kalau memang ternyata banyak orang menderita karena sesuatu lokasi bangunan tertentu, pada hal tidak bisa diketahui sebab-musababnya, maka yang mudah ialah berpindah tempat atau cara penggunaan sesuatu ruangan diubah. Misalnya ruang tidur dipindah ke ruang kerja atau sebaliknya dan sebagainya.

18.2 **Masalah petir**

Sehubungan dengan masalah elektro-statika itu, adalah masalah praktis perlindungan bangunan terhadap petir halilintar. Dimana petir menyambar, itu pun juga tergantung dari banyak sekali unsur yang berhubungan dengan susunan muatan listrik tanah dan karena itu tergantung dari susunan tanah dan benda-benda di atas sesuatu bidang tanah. Biasanya petir menyambar titik tinggi seperti pucuk pohon kelapa di tengah sawah dan sebagainya. Akan tetapi itu pun belum tentu, sebab sering pohon besar tinggi di atas pucuk gumuk berpuluh-puluh tahun bahkan lebih dari seabad tidak pernah terkena sambaran halilintar, sedangkan seorang petani yang di saat hujan kebetulan berjalan di atas sawah di lembah di bawahnya malahan terkena halilintar. Ada beberapa petunjuk praktis dapat kita pakai:

a. Bangunan janganlah diletakkan langsung di bawah pohon besar maupun tinggi. Selain itu berbahaya bila ada angin badai datang dan pohon bisa menjatuhi bangunan, dari segi penghantaran listrik halilintar, letak semacam itu tidak tanpa bahaya juga.

b. Pelindung baik terhadap bahaya halilintar ternyata adalah pohon-pohon cemara yang tinggi. Mereka bekerja selaku penghantar muatan elektro-statika alami yang baik karena ketinggian mereka dan karena bentuk mereka yang langsing dengan pokok sebagai poros atau tiang tinggi

tanpa cabang-cabang kayu yang melebar sekali. Mungkin susunan kayu dan damar di dalamnya ikut mempengaruhi sifat pohon cemara tinggi untuk menetralisir listrik udara di waktu mendung.

c. Perlu diperhatikan, bahwa orang sering salah-paham, bahwa suatu instalasi anti-halilintar dapat mengurangi kemungkinan bangunan terkena halilintar. Petir menyambar di bumi pertama-tama ditentukan oleh bentuk dan besarnya awan-awan serta susunan gumpalan-gumpalan awan itu. Ada atau tidaknya instalasi penanggulan-petir tidak mempengaruhi jalan petir dan tempat petir menyambar. Akan tetapi APABILA petir ternyata menyambar suatu bangunan dengan instalasi penanggulan-petir, maka biasanya petir akan mengambil jalan kabel-kabel dan jalan-jalan penghantar yang sudah diatur oleh instalasi itu. Dan begitu, bahaya kebakaran dan bahaya lain-lain paling sedikit dapat tersalur dan dikurangi. Jadi instalasi itu sendiri tidak mempengaruhi kemungkinan di mana petir akan menyambar, jangan lagi menghindarkan agar petir jangan menyambar. Dalam pengertian itulah kita harus mengartikan istilah-istilah seperti penanggulan petir, pelindung terhadap bahaya halilintar dan sebagainya oleh instalasi-instalasi tertentu.

d. Selain itu juga susunan gedung sendiri ikut berpengaruh. Gedung yang menyendiri dan menjulang di tengah padang tentulah lebih mudah mendapat kesempatan terkena halilintar dari pada suatu gugusan beberapa gedung yang disusun kompak rapat satu sama lain. Demikian juga kemungkinan gedung-gedung sedikit di padang bebas lebih banyak terkena petir dari pada kota dengan bangunan-bangunannya yang banyak dan rapat.

e. Ternyata juga, bahwa halilintar hampir tidak pernah menyambar di atas bidang luas sungai atau danau. Banyak halilintar terdapat pada daerah yang terletak di antara dua sungai yang besar. Di situ pun curah-hujan juga nisbi besar. Banyak faktor iklim, susunan geologi tanah dan geografi daerah ikut menentukan, mana daerah didatangi banyak petir dan mana tidak.

f. Akan tetapi untuk bangunan-bangunan tertentu suatu instalasi penanggulan petir sangat bermanfaat bahkan diharuskan. Sebaliknya tidak semua bangunan atau rumah perlu mempunyai instalasi penanggulan petir. Yang membutuhkan atau harus memilikinya biasanya ialah:

1) bangunan, di mana banyak berkumpul manusia, teater, rumah sakit, kantor besar, sekolah dan sebagainya.

2) bangunan yang tinggi, seperti menara mesjid, gereja dan gedung-gedung tinggi lain. Atau yang terletak terisolir di tengah sawah-padang maupun puncak gumuk.

3) juga bangunan-bangunan umum yang menyangkut kesejahteraan atau ekonomi rakyat banyak, seperti pembangkit tenaga listrik, pabrik, perpustakaan umum, museum, arsip-arsip dan gedung-gedung besar yang ternyata dibuat dari bahan-bahan yang mudah terbakar dan sebagainya.

18.3 **Sistem pengamanan terhadap petir**

a. *Sistem Franklin*

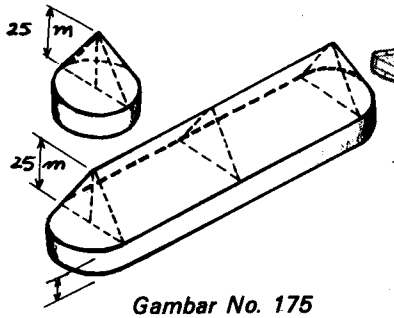
Sistem ini sangat sederhana dan karenanya hanya berlaku untuk gedung-gedung kecil tetapi seumumnya dianggap kurang memuaskan. Yakni merupakan suatu *tongkat logam* belaka dengan puncak penghantar listrik yang baik dan dihubungkan dengan kabel penghantar baik juga dengan suatu plat atau pipa logam yang ditanam di dalam tanah. Tongkat itu diletakkan di atas bangunan dan dibuat sepanjang mungkin.

b. *Sistem Faraday atau Melsens (Gambar 175, 176)*

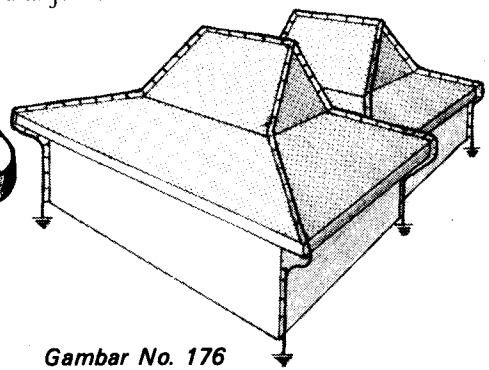
Cara ini didasarkan atas percobaan-percobaan Faraday. Ruang di dalam suatu *kurungan logam* tidak lagi peka atau dapat dipengaruhi oleh pengaruh-pengaruh listrik dari luar. Oleh kurungan logam, ruang atau bangunan dapat diisolasi dari pengaruh listrik petir juga. Prinsip ini diperkembangkan oleh Melsens sebagai sistem pengamanan terhadap bahaya petir.

Jelaslah bahwa kurungan Faraday lebih efisien dalam menanggulangi bahaya petir (bila datang) dari pada tongkat Franklin. Namun lebih mahal juga.

Yang penting ialah, bahwa kabel-kabel yang mengurungi bangunan harus mendapat jangkar banyak dalam tanah, sehingga kurungan logam tersebut (yang terbuat dari penghantar listrik baik, tembaga biasanya) sangat mudah mengalirkan muatan listrik awan/halilintar ke dalam tanah. Bila tidak maka mungkin sekali arus listrik petir meloncat ke suatu unsur bangunan lain yang tidak dimaksud sebagai penghantar dan bisa merusaknya atau merupakan tempat permulaan kebakaran. Sistem Faraday/Melsens ini yang biasanya dianjurkan.



Gambar No. 175



Gambar No. 176

18.4 **Konstruksi pelaksanaan**

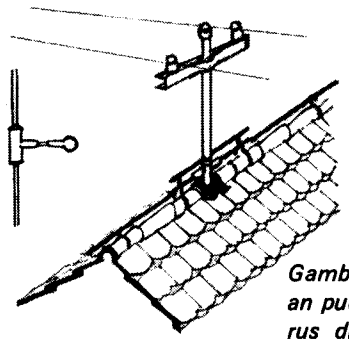
a. Bahan dipilih dari penghantar listrik yang baik, tembaga, kuningan atau pipa-pipa air ledeng biasa yang berair. Demikian juga unsur *penerima* petir yang paling atas.

b. *Gambar 175 a* menunjukkan daerah yang terlindung oleh satu pucuk penerima petir, sedangkan *gambar 175 b* untuk suatu garis penerima yang horisontal. Dianggap bahwa letak pucuk atau garis penerima petir yang tertinggi tidak melebihi 25 meter. Jika itu lebih dari 25 meter, maka daerah yang terlindung adalah kerucut dengan sudut puncak 112° per pucuk penerima petir, seperti yang tampak dalam *gambar 175 a.*

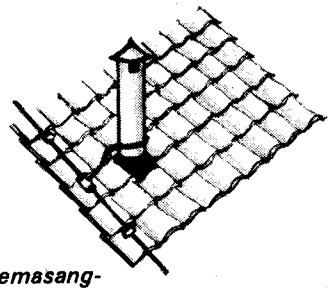
c. Penerima petir paling sedikit harus ada pada ketinggian 15 meter di atas tanah kelilingnya.

d. Untuk instalasi dengan lebih dari satu penerima petir, maka setiap penerima harus mempunyai paling sedikit dua jalan penghantar ke tanah. Titik simpul pencabangan ke tanah ini tidak boleh lebih jauh dari 5 meter dari pucuk.

e. *Gambar-gambar 177 a-d* adalah beberapa contoh pengetrapan pemasangan pucuk-pucuk penerimaan petir yang dipasang pada unsur-unsur bangunan yang tertinggi. Sedangkan *gambar 178 a-b* memperlihatkan beberapa cara berkonstruksi penyaluran arus petir yang aman ke tanah.



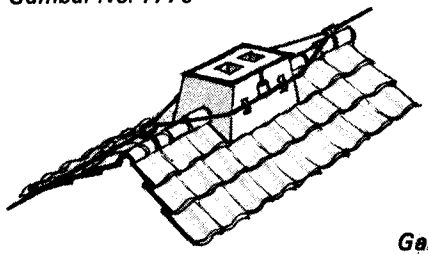
Gambar No. 177a

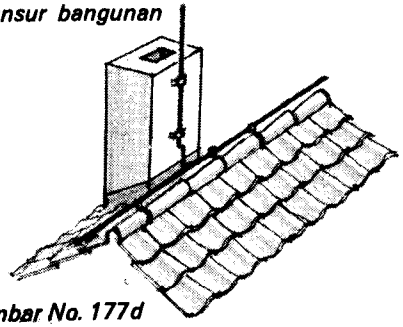


Gambar No. 177b

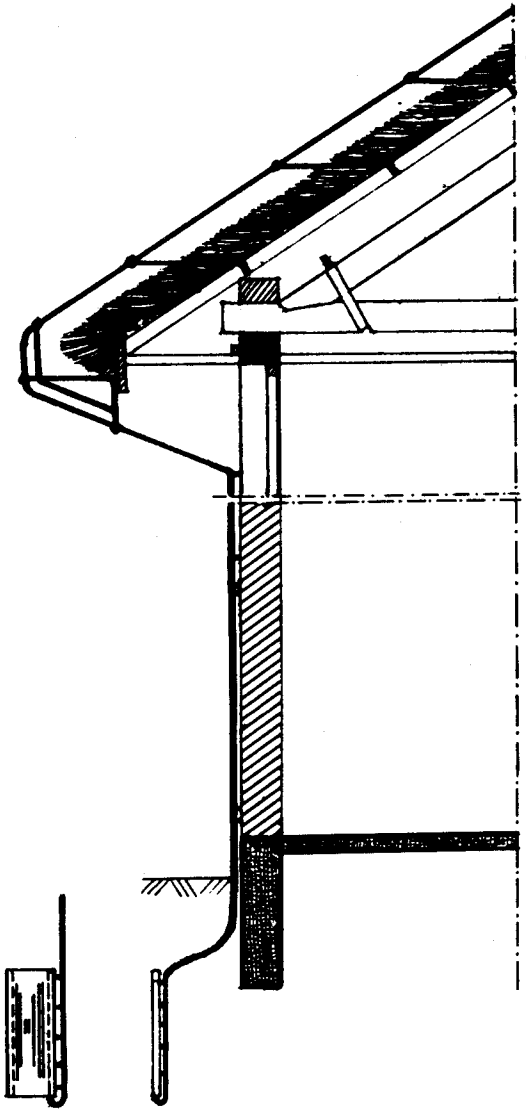
Gambar No. 177: Pemasangan pucuk penangkap petir harus ditempatkan pada kedudukan unsur-unsur bangunan yang tertinggi.

Gambar No. 177c

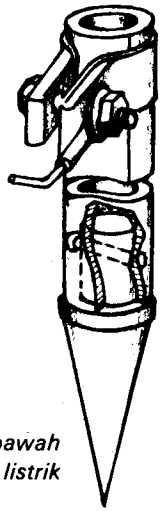




Gambar No. 177d



Gambar No. 178a: Kabel penyalur arus petir harus dipasang lepas dan sejauh mungkin dari atap dan unsur-unsur bangunan lain.



Gambar No. 178b: Suatu contoh angker di bawah tanah selaku ujung terakhir dari kabel penyalur listrik petir.

Gambar No. 179: Arsitektur pura Bali ini merupakan unsur yang selaras dengan alam sekitarnya. Alam mentah belum Arsitektur dalam arti yang sesungguhnya. Baru bila sudah dipadukan ke dalam usaha manusia budayawan, alam menjadi sahabat dan penolong peri kehidupan manusia. Dalam arti itu alam sudah merupakan "arsitektur" yang tinggal disempurnakan.

19. FLORA DAN FAUNA SERTA PENGELOLAAN EKOLOGIS

19.0 Hubungan bangunan dan flora fauna

Alam Indonesia serba subur dalam flora (dunia tumbuh-tumbuhan) dan fauna (dunia binatang). Lazimnya soal flora tidak dimasukkan dalam bidang arsitektur atau ilmu bangunan, kecuali yang ikut seni-taman. Memang selayang pandang soal bangunan dan soal tumbuh-tumbuhan atau pun dunia binatang tidak berpautan dengan soal bangunan, dan dianggap dunia tersendiri. Sebagian itu disebabkan karena secara tidak sadar, tetapi sering parah akibatnya, dunia bangunan dan dunia flora-fauna bermusuhan. Di mana bangunan tumbuh, flora dan fauna harus menyingkir. Arsitektur bertindak sebagai agresor, seperti juga kota urban semakin menggayang desa sawah agraris.

Permasalahan tersebut memang sangat kompleks dan rumit serta sulit penyelesaiannya, walaupun setiap orang yang terpelajar maupun yang berpikir praktis tahu, bahwa dunia urban dan dunia agraria, dunia bangunan dan flora-fauna harus saling mengisi, hidup bersama dalam suatu integrasi yang selaras. Di sinilah tanggung jawab setiap arsitek, ahli bangunan maupun pihak-pihak yang berwenang dalam masa demam pembangunan sekarang. Soal itu tidak hanya ada di negeri kita, tetapi adalah masalah dunia. Sebenarnya adalah masalah dan tanggung jawab kita masing-masing juga.

19.1 Kesatuan ekologis alam lingkungan kita

Dunia kehidupan manusia, kehidupan flora dan fauna yang mendapat tempat di bumi dengan segala kemungkinan namun juga keterbatasan fisiknya adalah SATU KEHIDUPAN TUNGGAL. Seperti anggota-anggota tubuh kita juga. Jika kita mengabaikan pengelolaan kesehatan paru-paru (misalnya terus-menerus bekerja dalam pabrik berdebu dan penuh gas berbisa) seluruh tubuh dan bukan hanya paru-paru saja yang menderita. Unsur kecil empedu rusak, seluruh tubuh bisa mati. Demikian juga seluruh unsur dan proses-proses keadaan serta kehidupan apa pun, binatang maupun tumbuh-tumbuhan, pengotoran air sungai atau pengotoran hawa udara, penebangan hutan atau pembangunan bidang-bidang kota luas ser-

ba aspal dan beton, semua itu tidak boleh seenaknya saja. Tidak semua yang kita mampu selalu boleh kita kerjakan.

Seluruh kehidupan di planet bumi ini, merupakan satu kesatuan hidup bersama (ekologis) yang saling tergantung dan saling menyumbang selaku kawan anggota keluarga tunggal yang hidup atau mati bersama (organis, integral). Mental dan kebijaksanaan ekologis, organis, integral itulah, terutama sekarang, demi kelangsungan kesejahteraan bangsa kita dan seluruh bangsa manusia harus kita latih dan kita bina. Dengan kata lain: *kita harus sadar dan ikhlas mengelola alam keliling kita,* justru bila kita sedang merencanakan atau memperbaiki bangunan-bangunan dan pergedungan kita.

Mulai sekarang memang dalam kenyataannya, walaupun tak sadar, tak sengaja, arsitek dan pembangunan gedung atau kota semakin menjadi agresor flora dan fauna serta tata-kesatuan-hidup keliling kita. Di masa-masa dulu bangunan masih sederhana dan selalu selaras dengan alam, dan tidak dibangun dalam jumlah yang sangat besar. Bahan-bahan bangunan pun adalah bahan-bahan alam, yang diambil dari alam dan dikembalikan kepada alam. Misalnya kayu yang menjadi busuk kembali pada alam. Pengambilan bahan dari alam lebih sedikit dari yang diproduksi oleh alam sendiri. Kebersihan dan kewajaran air serta hawa-udara tidak ternoda.

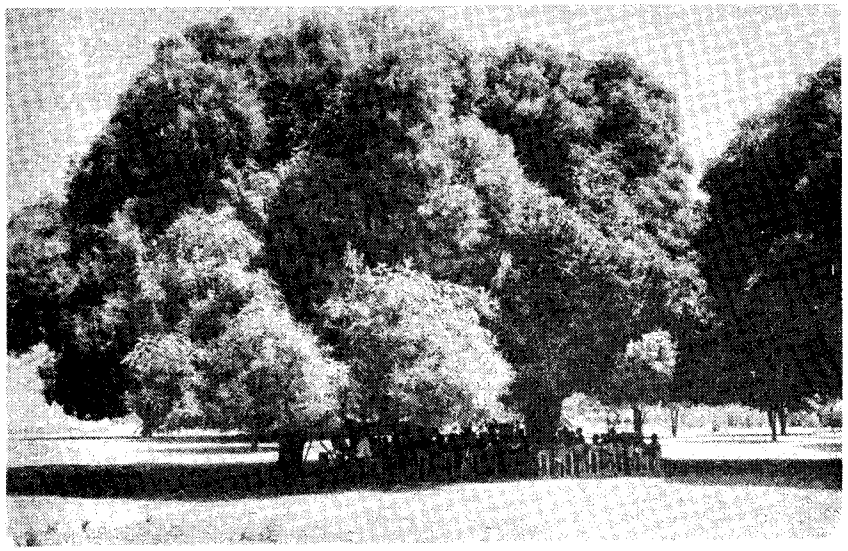
Tetapi pada masa sekarang alam hanya disedot saja terus-menerus. Pohon-pohon di hutan ditebang terus-menerus tanpa jaminan peremajaan kembali. Selain itu bahan-bahan baru, beton, sintetis kimia dan sebagainya semakin membanjir dan jelas bahwa nampak benda-benda plastik, kaca dan sebagainya tidak bisa busuk, artinya tidak dikembalikan kepada alam agar bisa diolah oleh alam sendiri menurut hukum-hukum alam. Air dan hawa udara semakin dikotori oleh gas-gas dan kotoran pabrik buatan manusia, yang jelas semakin lama semakin menimbulkan kegoncangan. Oleh karena itu kita yang diberi tugas membangun perumahan atau gedung-gedung lain harus menyumbang mentalitas baru yang mengendap dalam karya bangunan yang benar. Benar di sini berarti: bukan sebagai musuh alam, melawan flora-fauna dan keseimbangan alamiah di keliling kita, melainkan sebagai pencinta alam yang mencipta bangunan selaku PENGANGKATAN alam menjadi anggota organis PEMBUDAYAAN planet bumi.

19.2 **Re-architecture**

Karena alam Indonesia serba subur, maka flora dan fauna harus merupakan fasal integral dalam pemikiran bangunan. Di tanah Arab atau padang-pasir sering kita menemukan arsitektur dan sistim bangunan yang bisa lepas dari flora-fauna, karena memang di padang pasir unsur-unsur

itu dapat dikatakan tidak ada. Di tanah air kita hal itu tidak boleh. Bangunan dan flora-fauna merupakan satu perkara tunggal. Bila kita merencanakan bangunan, kita harus sekaligus juga merencanakan unsur tumbuh-tumbuhan dan bila kita membangun kota, kita harus sekaligus merencanakan juga kehidupan burung-burung dan sebagainya.

Pohon-pohon dan tumbuh-tumbuhan, lagi seluruh alam sekitar kita sebenarnya SUDAH merupakan arsitektur alam yang merupakan modal sangat besar *(gambar 180).* Pengabaian modal itu tidak hanya suatu penghamburan ekonomis yang salah, tetapi juga suatu tindakan yang mencekik diri sendiri. Bahkan sering ada situasi, di mana kita sebenarnya sama sekali tidak membutuhkan arsitektur buatan manusia seperti gedung, dinding beton dan sebagainya. Cukuplah misalnya pohon beringin yang besar dijadikan "gedung" gelanggang remaja atau pasar atau bangunan pelindung stasiun bis. Mungkin dengan tambahan sedikit yang tidak terlalu mahal dan yang fleksibel kita berikan perlindungan sekedarnya terhadap hujan. Atau: mengapa mutlak kita harus mendirikan dinding dari batu-bata ataupun pagar dari baja?



Gambar No. 180: Dalam negara berkembang, ruangan sekolah misalnya tidak harus berupa gedung, agar disebut ruang sekolah. Contoh dari Afrika ini jelas sekali menunjukan arti "alam selaku bangunan arsitektur". Efisiensi dan kenik matan fisik serta psikis ruang kelas seperti ini tidak kalah dengan banyak gedung-gedung sekolah kita yang selain mahal, masih belum tentu bernilai pendidikan yang mengarah ke pengertian, pengartian dan penghargaan alam sekitar.

Gambar No. 181: Gunung-gunung, sawah dan pepohonan, semua itu betul bukan bangunan, tetapi ikut memberi sifat dan suasana kepada kediaman kita. Peliharalah segala itu sebagai modal berharga.

Apakah pagar flora kalah indah dan kalah effisien. Pagar dari kaktus yang indah jelas lebih aman dari pagar besi. Dengan istilah lain: kita harus mahir dan mau berstrategi "re-architecturing", (re: kembali). Arti-nya, bukan mendirikan bangunan (saingan) di samping atau pengganti suatu pemberian alam tertentu, melainkan sejauh mungkin menerima penuh pemberian alam tertentu. Bukan menerima begitu saja, melainkan dengan menyelidiki pertama: hal-hal apa yang menjadi modal di alam itu, hal-hal apa yang kita tidak perlu membuatnya sendiri dengan biaya mahal dan belum tentu lebih effisien. Dan tinggal kita mengubah, membentuk sedikit sana-sini dan cukuplah. Alam yang tadi masih liar menjadi alam yang sudah dibudayakan dan bagus baik dalam *guna* maupun *citra*. Sesuatu yang tadi hanya alami, menjadi manusiawi. *(gambar 181.)*

19.3 **Arsitektur flora**

Dengan demikian jelaslah, bahwa untuk tanah air kita *Arsitektur flora* (dan tidak hanya seni-taman) memegang peran yang sangat vital. Orang Belanda dulu sangat menyadari perkara ini. Di mana saja mereka mendirikan kampung perumahan mereka, tangsi atau istana (lihat istana Bogor dengan Taman Botani mereka) dan tata kota, selalu yang pertama yang mereka kerjakan ialah menanam pohon-pohon penaung. Kota-kota Belanda di Indonesia, sama dengan desa-desa pribumi kita, selalu adalah kota penuh pohon. Dan selalu di kota manapun mereka tidak lupa (persis dengan filsafat pribumi kita) membentangkan alun-alun. Sesudah kita merdeka, kita bahkan menggunduli kota dan halaman-halaman kita.

Fungsi flora bukan hanya berarti sebagai kenikmatan dan perlindungan terhadap matahari, melainkan vital demi kesehatan raga kita. Juga kesehatan jiwa kita, sebab pohon dalam pengertian asli nenek-moyang kita yang bijaksana, bukanlah hanya benda ber-*GUNA* melainkan *CITRA* dan lambang kebudayaan serta keyakinan terdalam dari roh sesuatu bangsa yang agung, manusia yang peka mencari segala yang indah dan sejati.

Buku-buku terbitan kami:

Ir. Setyo Soetiadji S.
Seri Anatomi Bangunan, buku praktis merancang arsitektur terdiri dari 6 jilid. Untuk mahasiswa Arsitektur dan calon-calon arsitek serta mereka yang bergerak dalam bidang rencana bangunan.

ANATOMI DENAH. Buku praktis arsitektur yang memberikan penjelasan mengenai Anatomi Denah dalam bidang merancang bangunan. Secara mendetail diuraikan mulai dari seluk beluk anatomi bangunan; denah, potongan dan tampak luar bangunan; mengolah denah dengan menitikberatkan pada bentukan dan fungsi serta hubungannya dengan struktur bangunan; anatomi denah dan pengelompokan fungsi; Anatomi Denah dalam berbagai bentuk-bentuk denah.

ANATOMI TAMPAK. Buku praktis arsitektur yang memberikan penjelasan mengenai Anatomi Tampak mulai dari Perihal Tampak Luar; Faktor yang mempengaruhi Pengolahan Tampak, Karakter Penampilan Tampak; Garis, Bidang dan Struktur dalam Tampak Bangunan; Patahan untuk membuat Tampak Bangunan, dan contoh Tampak Bangunan. Secara terperinci diuraikan pula mengenai bentuk sosok bangunan, tempat dan bentuk tapak; peta orientasi kepada garis edar matahari, orientasi kepada potensi terdekat; orientasi pada arah pandangan tertentu dan membahas pula tentang karakter penampilan secara netral, menonjol dan ekslusif.

ANATOMI POTONGAN. Membahas masalah perancangan arsitektur dari segi potongan. Antara lain diungkapkan tentang potongan bangunan, potongan ruang, potongan detail, potongan dan fungsi ruang, potongan dan permukaan tanah datar, potongan dan permukaan tanah miring, dan potongan dengan permukaan tanah curam. Dilengkapi gambar yang jelas dalam warna dan raster.

ANATOMI STRUKTUR. Membahas masalah struktur dalam bidang arsitektur. Secara terperinci dijelaskan pengertian struktur, anatomi struktur dan struktur dalam kaitannya dengan perancangan bangunan.

ANATOMI ESTETIKA. Memadukan unsur estetika dalam perencanaan bangunan. Antara lain bentuk lingkaran dan lengkung, bentuk segitiga, bentuk persegi, bentuk tonggak, struktur cantik, olahan garis, olahan bidang, olahan masif dan olahan lubang, olahan tampak, olahan fisik, permainan warna dalam tampak bangunan, permainan tekstur penambahan ornamen dan benda hias.

ANATOMI UTILITAS. Pembahasan tentang utilitas bangunan mulai dari anatominya, hubungan utilitas dengan fungsi bangunan, Utilitas dan Perancangan Bangunan, pencahayaan dan pengudaraan alami. Lingkup elektrika dalam bangunan dan lingkup mekanikal dalam bangunan.

Tim Seminar Tata Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia bimbingan *Dipl. Ing. Suwondo B. Sutedjo:*

PENCERMINAN NILAI BUDAYA DALAM ARSITEKTUR INDONESIA. Pembahasan tentang perkembangan budaya yang pernah menjiwai arsitektur Indonesia selama berabad-abad yang lalu.

PERAN, KESAN DAN PESAN BENTUK-BENTUK ARSITEKTUR. Pembahasan tentang bentuk-bentuk arsitektur yang dilihat dari fungsinya, kesan yang terpantul dan pesan yang disampaikan.

ARSITEKTUR, MANUSIA DAN PENGAMATANNYA. Membahas masalah arsitektur secara umum dikaitkan dengan tinjauan ruang secara psikologis dan pengamatan yang cermat.

Prof. Ir. R. Soemono: **NOMOGRAM BETON BERTULANG.** Hitungan kokoh pada beton bertulang.

Sharmi Mahdi: **RUMAH TROPIS/TROPICAL HOUSE.** Menampilkan berbagai model rumah yang khas untuk daerah tropis dan persyaratannya untuk mendapatkan keteduhan, kenyamanan dan diberikan penjelasan pengaturan tata ruang. Dilengkapi denah dan gambar-gambar berwarna.

PT PENERBIT DJAMBATAN

Jl. Paseban 29
Jakarta 10440
Tromolpos 1116/Jkt. 10011
Telp. 390 8790

Jl. Wijaya I/39 Kebayoran Baru
Jakarta 12170
Telp. 720 3199 - 720 8562
Fax. 720 8562

PERPUSTAKAAN DAERAH JAWA TIMUR
JL. MENUR PUMPUNGAN No. 32
SURABAYA
TAHUN ANGGARAN 1996 / 1997